

Mobile Messgeräte

N300

Schwingungsmessgerät
Betriebs-Auswuchtgerät



BETRIEBSEINLEITUNG



CEMB
BALANCING MACHINES



Dichiarazione CE di Conformità
Declaration of Conformity
EG-Konformitäts-Erklärung
Déclaration de Conformité
Declaración de Conformidad CE
Declaração CE de Conformidade



EC-Verklaring van Overeenstemming
Försäkran om CE-överensstämmelse
CE-overensstemmelses-erklæring
CE-overensstemmelses-erklæring
CE-vaatimusmukaisuus-vakuutus
Δήλωση Συμμόρφωσης CE

La Ditta
The Company
Die Firma
La Maison
La Compañia
A Empresa



Het bedrijf
Företaget
Virksomheden
Virksomheten
Yhtiö
Η εταιρία

dichiara con la presente la conformità del Prodotto
herewith declares conformity of the Products
erklärt hiermit die Konformität des Produkts
déclare par la présente la conformité du Produit
Declare la conformidad del Producto
com a presente declara a conformidade do Produto

verklaart bij deze de onverenstemming van het product
försäkrar härmed att produkten
erklærer herved, at produktet
bekrefter herved at produktet
vakuttaa että tuote
Δηλώνει με την παρούσα τη συμβατότητα του Προϊόντος

Strumento	Instrument
Instrument	Instrument
Instrument	Instrument
Instrument	Instrument
Instrumento	Instrument
Instrumento	Όργανο

Tipo
Type
Typ
Type
Tipo
Tipo

N300

Type
Typ
Type
Type
Τύπος
Τύπος

Nr. di serie
Serial Number
Fabriknummer, usw
Numero de série
Numero de fabricación
Número de série

Serienummer
Serienr
Serienr
Serienr
Sarjanro
Αρ. Σειράς

Numero Distinta Base
Manufacturing List Number
Erstellungsliste nummer
Número de liste de construction
Numero lista de base
Número da Lista de Base

48AN64013

Nummer basislijst
Produktionslistans nr.
Produktionslistens nr.
Produktionslistens nr.
Valmistusluettelon nro.
Αριθμός Καταλόγου Παραγωγής

alle norme sottostanti / with applicable regulations below / mit folgenden einschlägigen Bestimmungen / selon les normes ci-dessous / con directivas subaplicables / com as normas indicadas em baixo / met de onderstaande normen / överensstämmer med följande föreskrifter / stemmer overens med følgende forskrifter
on yhdenmukainen seuraavissa laeissa olevien ehtojen kanssa / στους παρακάτω κανονισμούς

Direttive CEE / EC Directive / EG Richtlinie / Directive CEE / Directivas CE / Directivas CEE / EEG-richtlijnen
EU-direktiv / EØF-direktiver / EU-direktiver / EU-direktiivit / Οδηγίες CEE

2006/95/CE – 2004/108/CE

Norme Armonizzate Adottate / Applied Armonized Standards / Angewendete Harmonisierte Normen / Normes Harmonisées Appliquées / Normas Aplicadas en Conformidad / Normas Harmonizadas Aplicadas / Toegepaste geharmoniseerde richtlijnen / Standarder / Standardit / Εναρμονισμένοι Εφαρμοζόμενοι Κανονισμοί

EN 12100-1:2005		EN 12100-2:2005		EN 294:1993		EN 349:1993	
EN 418:1992		EN 457 :1993		EN 60204-1:2006	X	EN 60439-1:1990	X
EN 61000-6-3/A11:2005	X	EN 61000-6-1/IS1:2006	X	EN 61000-6-4:2002	X	EN 61000-6-2:2006	X

Data / Date / Datum / Date / Fecha / Data
Datum / Datum / Dato / Pvm / Ημερομηνία

Firma / Signature / Unterschrift / Signature / Firma / Assinatura
Handtekening / Underskrift / Allekirjoitus / Υπογραφή

16/03/2009

CEMB Spa
Ing. Carlo Buzzi

Carlo Buzzi

M06PRG01

Kapitel 1 - Allgemeine Beschreibung

➤ Standardausrüstung	1 - 1
➤ Optionales Zubehör	1 - 2
➤ Anschlüsse	1 - 2
➤ <i>Reset</i> Taste	1 - 3
➤ Akku	1 - 4
➤ Kalibrierung und Eichung	1 - 5
➤ Allgemeine Ratschläge	1 - 5

Kapitel 2 - Allgemeine Übersicht

➤ Tastatur	2 - 1
➤ Start-/Stoppfunktion beim Messen	2 - 3
➤ Wechseln des angezeigten Kanals	2 - 3
➤ Spezifische Zusatzfunktionen zu den jeweiligen Seiten ...	2 - 3

Kapitel 3 - Startbildschirmseite (Menü)**Kapitel 4 - Setup Funktion**

➤ Empfindlichkeit der Sensoren (Signalaufnehmer)	4 - 1
➤ Datum	4 - 2
➤ Uhrzeit	4 - 3
➤ Maß-/Messeinheiten	4 - 3
➤ Helligkeit des Displays	4 - 3
➤ Selbstausschaltung der Rückbeleuchtung	4 - 3
➤ Selbstausschaltung des Geräts	4 - 3

Kapitel 5 - Betriebsart Schwingungsmesser

➤ Messeinstellungen	5 - 1
➤ Nur für Overall Messungen gültige Einstellungen	5 - 3
➤ Nur für Synchronmessungen gültige Einstellungen	5 - 4
➤ Messergebnisse	5 - 5
➤ Zusatzfunktionen	5 - 8

Kapitel 6 - Betriebsart Auswuchten

➤ Unwuchtmessung und Korrekturberechnung	6 - 3
➤ Zusatzfunktionen	6 - 5
➤ Anzeige der Auswuchtergebnisse aus dem Archiv	6 - 5
➤ Messeinstellungen	6 - 7

Kapitel 7 - CEMB Programm N-Pro (Option)

➤ Systemanforderungen	7 - 1
➤ Installieren der Software	7 - 1
➤ Installieren der Driver für die USB Kommunikation mit den Instrumenten N100 und N300	7 - 2
➤ Aktivieren der Software	7 - 4
➤ Gebrauch der Software	7 - 5
➤ Funktionsleiste	7 - 5
➤ Allgemeine Einstellungen	7 - 6
➤ Auslesen der Daten aus dem Instrument N100 oder N300	7 - 7
➤ Archiv der wichtigen Daten vom Instrument N100 oder N300	7 - 8
➤ Anzeige der im Archiv präsenten Daten	7 - 9
➤ Erstellen und Ausdrucken von Zertifikaten (report)	7 - 12
➤ Erstellung und Druck von Mehrfachmessungen enthaltenden Zertifikaten (<i>Multi-Report</i>)	7 - 13

Anhang A - Technische Daten

Anhang B - Bewertungskriterien

Anhang C - Leitfaden zum Interpretieren eines Spektrums

Anhang D - Informationen zur Erstellung kundenspezifischer *Templates* (Modelle) für die vom CEMB Programm N-Pro erstellten Zertifikate

Anhang E - Liste der im Gerät verwendeten Symbole

Anlage: Auswuchtpräzision steifer Rotoren

Allgemeine Beschreibung

Der Apparat **N300** wird gemeinsam mit seinem Zubehör in einem eigens dafür vorgesehenen Koffer geliefert, der sowohl für eine raue Umgebung geeignet ist (Stahlwerke, Raffinerien, Werkstätten etc.) als auch Flugreisen aushält. Zur Sicherheit lässt sich der Koffer auch mit einem Schloss verschließen.

Es empfiehlt sich, das Gerät nach jedem Gebrauch wieder im Koffer zu verstauen um Transportschäden zu vermeiden.



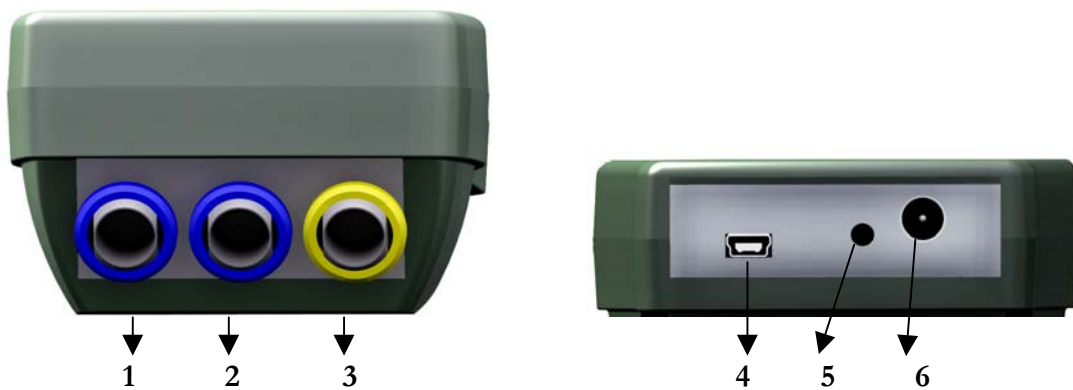
Standardausrüstung:

- Auswuchtgerät N300 komplett mit Akku
- Akkuladegerät
- Nr. 1 Signalaufnehmer (Beschleunigungsmesser) vom Typ TA-18S
- Nr. 1 Anschlusskabel für Signalaufnehmer
- Nr. 1 Magnethalter
- Nr. 1 Prüfspitze
- Photozelle für max. 18.000 U/min, komplett mit Halter und Magnetstativ
- Rolle Reflexionsband
- Gradscheibe
- Bedienungsanleitung in mehreren Sprachen auf CD-ROM
- Hermetisch schließender, hochbeständiger dichter *Heavy duty* Koffer
- Faltblatt "Quick-Instruction-Guide" mit Grundinformationen zur Bedienung

Optionales Zubehör:

- Zweiter Signalaufnehmer zur Geschwindigkeitsmessung, Durchmesser 40, komplett mit Anschlusskabel, Magnethalter und Prüfspitze
- Glasfaser Photozelle (für max. 60.000 U/min) komplett mit Halter und Magnetstativ
- 10m Verlängerungskabel für Signalaufnehmer
- 10m Verlängerungskabel für Standard Photozelle
- Nr. 1 USB Kabel für Datentransfer
- CEMB N-Pro Software zum Verwalten, Archivieren und Ausdrucken der Daten.

Anschlüsse



- 1 – Eingang Signalaufnehmer Kanal A
- 2 – Eingang Signalaufnehmer Kanal B
- 3 – Eingang Photozelle zur Geschwindigkeitsmessung
- 4 – Mini-USB-Port Typ B für Datentransfer
- 5 – *Reset* Taste des Geräts
- 6 – Verbinder für Akkuladegerät

Das Anschließen von Signalaufnehmer und Photozelle geschieht einfach durch das Einstecken des Verbinders in die entsprechende Anschlussbuchse, das „Klicken“ verrät, dass der Verbinder eingerastet ist. Die Sicherheitsverbindung sorgfältig ausrichten, so wie in der Abbildung gezeigt wird.



Zum Herausziehen des Verbinders hingegen auf sein Ende drücken (blau oder gelb) und gleichzeitig den Hauptkorpus ziehen (grau), damit dieser entriegelt wird.



Achtung:

Nicht mit Gewalt am Verbinder ziehen, ohne ihn wie vorher beschrieben entriegelt zu haben, er könnte sonst beschädigt werden.

Reset Taste

In einigen bestimmten Situationen könnte der CEMB Kundendienst ein *Reset* des Auswuchtgeräts N300 empfehlen. Zu diesem Zweck mit einem kleinen Gegenstand mit einer runden Spitze auf die eigens dazu vorgesehene Taste auf der unteren Geräteseite drücken. Diese befindet sich bewusst an einer schlecht zugänglichen Stelle um ein ungewünschtes *Reset* zu vermeiden.



Achtung:

Im Fall eines Fehlers, der sich nicht automatisch zurückstellt, erscheint auf dem Bildschirm die Aufschrift "*Err*" gefolgt von der Nummer des aufgetretenen Fehlers.

In diesem Fall für eine manuelle Rückstellung des Fehlers die *Reset* Taste drücken.



Achtung:

Die Reset Taste nicht mit spitzen Gegenständen wie Nadeln, Ankörnern oder Ähnlichem bearbeiten, da sie beschädigt werden könnte.

Akku

Das Auswuchtgerät N300 ist mit einer eingebauten wiederaufladbaren Lithiumbatterie ausgestattet. Diese sorgt unter normalen Gebrauchsbedingungen für eine Autonomie von mehr als zehn Stunden.

Der Ladezustand des Akkus wird von einem Symbol angezeigt, das sich oben rechts auf dem Bildschirm befindet.

-  Akku vollständig geladen
-  Akku teilweise entladen
-  Akku fast entladen (wenn dieses Symbol erscheint, hat das Gerät noch etwa eine Stunde Autonomie)
-  Akku leer: innerhalb von 5 Minuten für sein Aufladen sorgen

Sollte der Akku leer sein und wird das Gerät nicht innerhalb von 5 Minuten wieder aufgeladen, schaltet sich dieses aus.

In einer solchen Situation werden eventuell noch aktive Messungen unterbrochen und nicht abgespeichert.

Das Anschließen des Akkuladegeräts hat auch bei ausgeschaltetem Auswuchtgerät ein kurzes Aufleuchten des Displays zur Folge, was auf den erfolgten Anschluss hinweist.

Die Aufladephase ist an der Animation des Akkusymbols erkennbar, das sich progressiv füllt. Ist der Ladevorgang beendet, stoppt die Animation beim Symbol für Akku vollständig geladen.



Achtung

Beim Anschließen des Akkuladegeräts zunächst den Verbinder in seine Anschlussbuchse am Auswuchtgerät N300 einstecken; erst dann den Netzstecker in eine Steckdose stecken.

Ist der Ladevorgang beendet, erst das Akkuladegerät der Netzsteckdose entnehmen, bevor der Verbinder aus dem Instrument gezogen wird.



Achtung:

Es empfiehlt sich den Akku bei ausgeschaltetem Apparat aufzuladen. Da der vollständige Ladevorgang in weniger als 5 Stunden abgeschlossen ist, sollte das Akkuladegerät nicht zu lange angeschlossen bleiben (maximal 12 Stunden).



Achtung:

Der Lithium Akku hält ohne weiteres auch tägliche Lade-Entlade-Zyklen aus, kann aber Schäden davontragen, wenn er vollständig entladen wird. Deshalb sollte der Akku mindestens alle drei Monate wiederaufgeladen werden, auch wenn er länger nicht gebraucht werden sollte.



Hinweis:

Da die Rückbeleuchtung des LCD Displays den größten Stromverbrauch verursacht, schaltet sich das Display automatisch aus, wenn eine gewisse Zeit lang keine Taste gedrückt wird (Zeit ist einstellbar). Das Drücken irgendeiner Taste (mit Ausnahme von  und der alphanumerischen Tastatur) reicht aus um sie wieder einzuschalten.

**Achtung:**

Bevor man das Gerät für eine längere Zeitdauer verstaut ohne es benutzen zu wollen, dieses immer erst aufladen. Und alle drei Monate erneut aufladen: die Uhr im Inneren des Gerätes verbraucht Strom (wenn auch sehr wenig), deshalb könnte nach einer gewissen Dauer der Akku leer sein. Alternativ dazu kann der Akku vom Gerät abgetrennt werden, bevor man es für längere Zeit weg legt: in diesem Fall bitte berücksichtigen, dass beim Wiedereinschalten Datum und Uhrzeit eingestellt werden müssen. Im letztgenannten Fall für eine maximale Lebensdauer den Akku mindestens alle 8-9 Monate komplett aufladen.

Kalibrierung und Eichung

Vor seiner Auslieferung an den Kunden wird das mobile Auswuchtgerät N300 in den CEMB Labors einer kompletten Kalibrierungs-, Eichungs- und Abnahmeprozedur unterworfen, die seine korrekte Funktionsweise gewährleistet.

Allgemeine Ratschläge

Das Instrument nicht in der Nähe von starken Wärmequellen und Magnetfeldern (Inverter und leistungsstarke Elektromotoren) aufbewahren und benutzen.

Die Messgenauigkeit kann von Anschlusskabel Signalaufnehmer / Instrument beeinflusst werden, deshalb:

- dies Kabel nicht so verlegen, dass es gemeinsame Verlegungsabschnitte mit Leistungskabeln gibt;
- muss es doch Leistungskabel in einem Punkt kreuzen, sollte dies senkrecht zueinander geschehen;
- immer das möglichst kürzeste Kabel verwenden; schwimmend gelagerte Leitungen können in der Tat wie aktive und passive Antennen fungieren.

**Achtung:**

Bei allen Messarbeiten mit größter Aufmerksamkeit vorgehen und möglichst mit entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen arbeiten, die den Bediener gegen sich in Bewegung befindliche Teile schützen. Andernfalls immer einen ausreichenden Sicherheitsabstand einhalten.

Allgemeine Übersicht

Tastatur



Die Tastatur des CEMB N300 Geräts umfasst eine begrenzte Anzahl Tasten, die aber ausreichen um das Gerät bequem und intuitiv nutzen zu können.

- Taste zum Einschalten / Ausschalten



Diese Taste drücken um die Apparatur einzuschalten; zum Ausschalten mindestens 3 Sekunden lang gedrückt halten, dann loslassen.

Hinweis:

Nach dem Drücken von  wird unten auf der Bildschirmseite kurz die Seriennummer des Gerätes und die Version der installierten Firmware angezeigt. Bei Problemen diese Daten notieren, bevor man mit dem CEMB Kundendienst Kontakt aufnimmt, damit dieser entsprechende Hilfestellung leisten kann.

- OK Taste



Auf der Hauptbildschirmseite bestätigt diese Taste die vorgenommene Auswahl und gestattet den Zugriff auf die entsprechende Seite.

Auf der Setup Seite bestätigt diese Taste den Wert für den ausgewählten Parameter. Auf den Schwingungsmessungs- und Auswuchtseiten hat diese Taste unterschiedliche Funktionen:

- In der Phase zur Einstellung der zu messenden Parameter bestätigt sie die Werte.
- In der Messphase startet oder stoppt sie die Messung (siehe **2-3 Start-/Stoppfunktion beim Messen**).
- Wenn die Leiste mit den Zusatzfunktionen eingeblendet ist, dient sie zum Auswählen einer Funktion.

Auf der Archivseite gestattet sie den Zugriff auf die in der Leiste mit den Zusatzfunktionen ausgewählte Funktion.

- Rücktaste



Das Drücken dieser Taste hat das Verlassen der aktuellen Bildschirmseite zur Folge und die Rückkehr zur vorherigen Bildschirmseite.
Beim Einstellen der Parameter hingegen beendet sie die Operation ohne irgendeine Änderung bei den Werten vorgenommen zu haben.

- Funktionstaste (F)



Wo es möglich ist, lässt sie die Leiste mit den Zusatzfunktionen im unteren Displaybereich erscheinen.

- Einstelltaste (SET)



Auf der Seite mit den Einstellungen aktiviert sie die „Änderungsfunktion“ für den ausgewählten Parameter.
Auf den Schwingungsmess- und Auswuchtseiten hingegen aktiviert sie die „Änderungsfunktion“ für alle Messparameter.

- Kanalwechseltaste (A/B)



Auf den Messseiten wechselt sie den angezeigten Kanal.

- Pfeil-/Richtungstasten

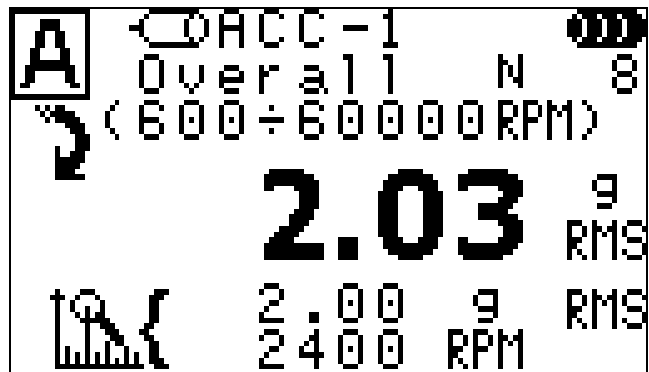


Wechseln das angezeigte Element, das daran erkennbar ist, dass es negativ d.h. weiß auf schwarzem Hintergrund angezeigt wird oder sie ändern den Wert des einzustellenden Parameters.

Start-/ Stoppfunktion beim Messen

Auf allen Messbildschirmseiten wird die Messung durch Drücken von  gestartet und anschließend durch erneutes Drücken von  gestoppt.

Die aktive Messphase ist leicht erkennbar und zwar durch die Präsenz eines sich drehenden Pfeils (oben links, unter der Anzeige des Kanals), der einen Umfang beschreibt.



In den ersten Augenblicken nach Beginn jeder Messung ist das Gerät N300 in der Lage, automatisch die Verstärkung festzulegen, die auf Grundlage des von den Signalaufnehmern gelieferten Signals am geeignetsten ist. Sollte die Schwingung so groß sein, dass sie die Betriebsgrenzen des Geräts überschreitet (siehe Anhang A), wird das Signal zur Kanalsättigung **-HI-** angezeigt

Wechseln des angezeigten Kanals

Damit die präsentierten Daten klar und eindeutig sind, zeigt das Gerät N300 jeweils immer nur einen Kanal an, unter Angabe des Symbols  oder .

Sollten beide Kanäle für die Messung verwendet werden, kann man mit der Taste  zwischen den Kanälen hin- und herspringen.

Spezifische Zusatzfunktionen zu den jeweiligen Seiten

Auf jeder Seite kann man durch Drücken der Taste  die spezifischen Zusatzfunktionen anzeigen lassen. Im unteren Bildschirmseitenbereich erscheint so eine Leiste, auf der man mit den Pfeiltasten   die gewünschte Funktion auswählen und mit  bestätigen kann.

Nach dem Drücken von  kann man die Leiste verlassen ohne eine Auswahl treffen zu müssen bzw. getroffen zu haben.

- Liste mit den Spitzenwerten

Wählt man diese Funktion, erscheint eine Tabelle mit der Liste der höchsten im Signal enthaltenen Komponenten, daneben die entsprechende Frequenz.

Die Spitzenwerte sind in absteigender Reihenfolge angeordnet, unabhängig von ihrer Frequenz und es ist Platz für maximal fünf Werte. Sollte das gemessene Signal weniger signifikante Komponenten aufweisen, erscheint eine geringere Spitzenwertanzahl.

A	OACC-1		000
9	RMS		RPM
	2.00		2400
	.640		7200
	.221		36000

Mit der Taste  kann man von der Anzeige der Spitzenwerte von Kanal A zu denen von Kanal B übergehen und umgekehrt.

Das Drücken der Taste  hat das Verlassen dieser Seite zur Folge und man kehrt zur Schwingungsmesseite zurück.

- Messarchiv

Mit dem Instrument N300 kann man problemlos durchgeführte Messungen oder Auswuchtungen abspeichern, in zwei unterschiedliche Archive:

- Archiv Schwingungsmessung (24 Positionen) Symbol 
- Archiv Auswuchtdaten (10 Positionen) Symbol 

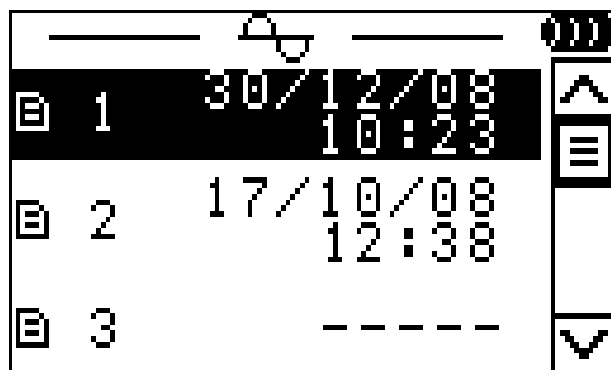
Die Größe des Schwingungsarchivs wurde optimiert, damit alle Messungen einer typischen Realsituation darin Platz finden: Erfassung in den drei orthogonalen Richtungen auf vier Auflagern, vor und nach einem Wartungseingriff an einer aus zwei Elementen bestehenden Maschine (Motor plus Pumpe oder Motor plus Ventilator).

Auf den Schwingungsmess- und Auswuchtseiten hat man durch Drücken der Taste  und die anschließende Auswahl des Symbols  in der Leiste mit den Zusatzfunktionen Zutritt zur entsprechenden Archivseite.

Das Symbol im oberen Bereich identifiziert das aktuelle Archiv, in dem jede Position durch das Symbol  und eine progressive Nummer gekennzeichnet sind. Leere

Positionen sind am Symbol ----- erkennbar, die anderen geben Datum und Uhrzeit der Abspeicherung ihres Inhaltes wieder, im Format DD/MM/YY HH:mm, wobei:

- DD der Tag des Monats ist (von 1 bis 31)
- MM der Monat des Jahres ist (von 1 bis 12)
- YY die letzten beiden Ziffern des Jahres sind (08 für das Jahr 2008, 09 für das Jahr 2009, ...)
- HH die Uhrzeit ist (von 00 bis 23)
- mm die Minuten der Uhrzeit sind (von 00 bis 59)



Die Auswahl der Position kann mit Hilfe der Pfeiltasten   erfolgen, dann die Leiste mit den Zusatzfunktionen anzeigen und die gewünschte Operation auswählen:

-  vervollständigte Messung (oder Auswuchtung) abspeichern.
Datum und Uhrzeit werden automatisch zur Identifizierung der archivierten Daten genutzt.
Sollte eine Messung mit zwei Kanälen vorgenommen worden sein, erfolgt das Abspeichern automatisch für beide Kanäle in der gleichen Archivposition.

Hinweis:

Wählt man eine bereits besetzte Archivposition, erscheint vor dem Abspeichern das Symbol  und fragt den Bediener nach einer Bestätigung zum Überschreiben der Daten. Hierzu  drücken. Mit der Taste  kann man hingegen die Speicherprozedur unterbrechen und eine andere Position wählen.

-  ausgewählte Messung (oder Auswuchtung) laden
Das Laden der vorher im Archiv abgespeicherten Daten gestattet dem Bediener, diese auf einer eigens dazu vorgesehenen Bildschirmseite anzusehen, beschrieben in
5-8 Anzeige der Messungen aus Archiv und 6-5 Anzeige der Auswuchtergebnisse aus Archiv.

-  die ausgewählte Messung löschen, die entsprechende Archivposition wird geleert.
-  alle Messungen löschen, entleert das gesamte Archiv.

Hinweis:

Bevor die Archivdaten gelöscht werden, fragt ein Symbol  den Bediener nach einer Bestätigung zum definitiven Löschen der Daten. Hierzu  drücken. Mit der Taste  kann man hingegen die Löschprozedur unterbrechen.

Hinweis:

Die Tasten   erhöhen und erniedrigen die ausgewählte Position um 3 Stellen und können für einen Schnelldurchlauf des Archivs genutzt werden.

Startbildschirmseite (Menü)

Nach Beendigung der Einschaltprozeduren präsentiert das Gerät N300 seine Hauptbildschirmseite:



auf der neben dem CEMB Symbol der Gerätenamen, der Ladezustand beim Akku, Datum und Uhrzeit zu sehen sind sowie die Symbole für den Zugriff auf die diversen Seiten:

- Schwingungsmessung 
- Auswuchten 
- Allgemeine Einstellungen (Setup) 

Nachdem man mit den Pfeilen   die gewünschte Seite ausgewählt hat, einfach  drücken um Zutritt zu bekommen.

1. Schwingungsmessung

- Misst die Gesamtschwingung (*Overall*), gemeinsam mit Ausschlag und Frequenz der höchsten Komponente (Haupt Peak = Spitzenwert)
- Misst die drehzahlsynchrone Schwingungsgröße und Phase bei der Rotordrehzahl oder ihrem Vielfachen (*1xRPM, 2xRPM, 3xRPM, 4xRPM und 5xRPM*)

2. Auswuchten

- Auswuchten von Rotoren unter Betriebsbedingungen in einer oder in zwei Ausgleichsebenen

3. Setup

- Einstellen der Empfindlichkeit bei den am Gerät angeschlossenen Sensoren
- Einstellen der Hauptbetriebsparameter beim Gerät

Steckt man das USB Kabel in die USB Anschlussbuchse beim Instruments N300 und in die eines PC, während auf dem Gerät die Startbildschirmseite angezeigt wird, erscheint automatisch die Datentransferfunktion mit ihrer eigens dazu vorgesehenen Bildschirmseite.



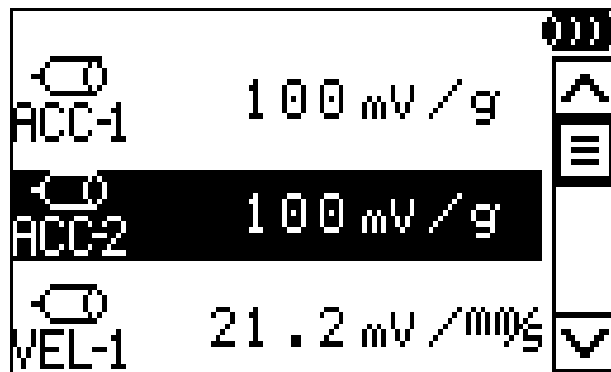
In dieser Situation agiert der PC als *Master*, während das Gerät N300 nur ein einfacher *Slave* ist, d.h. das Drücken seiner Tasten hat keinerlei Reaktion zur Folge.

Nachdem die Daten an den PC übertragen wurden (siehe Kap. 7–6 **Auslesen der Daten aus dem Instrument N300**), das USB Kabel abtrennen um zur Hauptbildschirmseite zurückzukehren.

Setup Funktion

Auf der Setup Bildschirmseite können alle Parameter eingestellt werden, die zur korrekten Funktionsweise des Gerätes N300 notwendig sind.

Die Liste aller veränderbaren Parameter kann mit den Pfeilen   durchlaufen werden und der jeweils angewählte Parameter erscheint mit weißem Schriftzug auf schwarzem Hintergrund (negativ).



Zum Verändern des Wertes ist die Taste  zu drücken, dann den gewünschten Wert wie beschrieben eingeben, zum Schluss mit  bestätigen.

Zum Verlassen der Setup Funktion ohne eine Veränderung des vorherigen Wertes die Taste  drücken.

Empfindlichkeit der Sensoren (Signalaufnehmer)

Das Gerät N300 kann mit diversen Sensortypen und –Modellen betrieben werden, für eine korrekte Messung ist deshalb die genaue Empfindlichkeit (= Anzahl der Volt pro Einheit) der effektiv angeschlossenen Sensoren vorzugeben.

Durch Drücken von  kann die Empfindlichkeit des Sensors Ziffer für Ziffer verändert werden.

Die Pfeile  und  erhöhen oder erniedrigen die ausgewählte Ziffer um eine Einheit (wird negativ angezeigt).

Die Pfeile  und  hingegen wählen jeweils die linke oder rechte Ziffer aus.

Hinweis:

Auch wenn das Gerät mit jeder Sensor- bzw. Signalaufnehmerkombination korrekt arbeiten kann, empfiehlt es sich an die beiden Kanäle Sensoren des gleichen Typs und vom gleichen Modell anzuschließen.

Für jeden der möglichen Typen:

- Beschleunigungsmesser ACC
- Geschwindigkeitsmesser VEL
- Versetzung DIS

können zwei unterschiedliche Empfindlichkeiten eingestellt werden, die jeweils mit "1" und "2" angegeben werden.

Auf diese Weise sind sechs unterschiedliche Sensoren definierbar:

- ACC-1 Beschleunigungsmesser n° 1 (gespeist – Typ IEPE)
- ACC-2 Beschleunigungsmesser n° 2 (gespeist – Typ IEPE)
- VEL-1 Geschwindigkeitsmesser n° 1 (nicht gespeist)
- VEL-2 Geschwindigkeitsmesser n° 2 (nicht gespeist)
- DIS-1 Versetzungssensor n°1 (nicht gespeist)
- DIS-2 Versetzungssensor n°2 (nicht gespeist)

was den Gebrauch von Sensoren des gleichen Typs aber mit unterschiedlicher Empfindlichkeit möglich macht.

Typische Werte für die Empfindlichkeit der diversen Sensoren:

Sensortyp	Empfindlichkeit	Typischer Wert
Beschleunigungsmesser (ACC)	mV/g	100
Geschwindigkeitsmesser (VEL)	mV/(mm/s)	21,2
Versetzung (DIS)	mV/μm	8

**Achtung:**

Bei einigen Modellen kann die Empfindlichkeit von den typischen Werten abweichen; in den Unterlagen des Sensors den korrekten Wert nachschlagen und einstellen.

Datum

Beim Gerät N300 ist das Datum jeweils zweistellig einzugeben, zwei Ziffern für den Tag, zwei Ziffern für den Monat und das Jahr und zwar in dieser Reihenfolge. Als Hilfestellung wird das Format dd/mm/yy unter dem aktuellen Datum angezeigt.

Die Eingabe eines neuen Wertes geschieht genauso wie es für die Empfindlichkeit der Sensoren beschrieben wurde (siehe oben).

Uhrzeit

Beim Gerät N300 wird die Uhrzeit zweistellig eingegeben, zwei Ziffern für die Stunden (von 00 bis 23) und zwei Ziffern für die Minuten (von 00 bis 59). Als Hilfestellung wird das Format hh:mm unter der aktuellen Uhrzeit angezeigt.

Die Eingabe eines neuen Wertes geschieht genauso wie es für die Empfindlichkeit der Sensoren beschrieben wurde (siehe oben).

Maß- bzw. Messeinheiten

Folgende Maß- bzw. Messeinheiten können für die Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Weggrößen verwendet werden:

- g; mm/s; μm : metrische Einheiten
- g; inch/s; mils : angelsächsische Einheiten

Nach dem Drücken von  lassen sich alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten mit den Pfeilen   durchlaufen.

Helligkeit des Displays

Die Helligkeit des rückbeleuchteten Displays kann den unterschiedlichen Umgebungsbedingungen angepasst und vom kleinsten Wert (keine Rückbeleuchtung) bis auf den Maximalwert geregelt werden. Dies geschieht mit Hilfe der Pfeile  

nachdem der Modus „Werteeingabe“ durch Drücken von  aktiviert wurde.

Selbstausschaltung der Rückbeleuchtung

Zum Schonen des Akkus schaltet sich die Rückbeleuchtung automatisch nach einer vorgegebenen Zeitdauer ab (einstellbar von 1 bis 255 Sekunden) und zwar nach dem Drücken der letzten Taste. Das anschließende Drücken jeder beliebigen Taste hat die Wiedereinschaltung der Rückbeleuchtung zur Folge.

Selbstausschaltung des Geräts

Zum Schonen des Akkus schaltet sich das Gerät automatisch nach einer vorgegebenen Zeitdauer aus (einstellbar von 5 bis 60 Minuten) und zwar nach dem Drücken der letzten Taste. Anschließend muss das Gerät durch Drücken von  erneut eingeschaltet werden.

Betriebsart Schwingungsmesser

Eine der einfachsten aber gleichzeitig signifikantesten Informationen bei der Schwingungsanalyse liefert die Gesamtschwingung (*overall*). Dies ist in der Tat oft der erste Parameter, der zur Bewertung der Arbeitsbedingungen eines Motors, eines Ventilators, einer Pumpe oder einer Werkzeugmaschine zu berücksichtigen ist...

Mit Hilfe entsprechender Tabellen kann man einen optimalen, guten, zulässigen, tolerierbaren, unzulässigen oder sogar gefährlichen Zustand bestimmen (siehe **Anhang B – Bewertungskriterien**).

In einigen Situationen kann es hingegen interessant sein, die drehzahlsynchrone Schwingungsgröße und Phase bei der Rotordrehzahl (*1xRPM*) oder ihrem Vielfachen (*2xRPM*, *3xRPM*, *4xRPM*, *5xRPM*) zu kennen.

Die Betriebsart Schwingungsmesser realisiert diese Art Messung auf einfache und intuitive Art und Weise und gestattet ein Abspeichern in einem eigens dazu vorgesehenem Archiv.

Messeinstellungen

Die zur Schwingungsmessung verwendeten Einstellungen werden alle auf der Schwingungsmesserseite angezeigt und können durch Drücken der Taste  verändert werden: für mehr Klarheit werden alle Messergebnisse ausgeblendet und es sind nur die veränderlichen Parameter sichtbar. Bevor man Änderungen an den Einstellungen vornimmt sich zunächst vergewissern, dass in der Ecke oben links der Kanal angezeigt wird, bei dem man eingreifen möchte; diesen andernfalls mit  wechseln.

Der veränderbare Parameter wird negativ angezeigt, durch Drücken der Pfeiltasten  

kann man alle veränderbaren Parameter durchlaufen. Mit den Pfeiltasten  

hingegen geht man zum vorherigen oder nächsten Parameter über.

Diese lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

- Spezifische Parameter, gelten einzig und allein für den momentan angezeigten Kanal
- Gemeinsame Parameter, kommen automatisch bei beiden Kanälen zur Anwendung: hierzu gehört die gewünschte Messart



1. Einen Kanal befähigen / deaktivieren:

Jeder der Messkanäle des Geräts N300 kann:

-  bei Wunsch befähigt werden, einfach einen Signalaufnehmer anschließen und eine Messung vornehmen
-  deaktiviert werden, einfach keinen Signalaufnehmer anschließen

Beim Deaktivieren eines Kanals werden alle anderen Messeinstellungen ausgeblendet und beim Drücken von  erscheint der Hinweis OFF.

2. Sensor-(Signalaufnehmer-)Typ:

Es ist einer der Sensoren auszuwählen, dessen Empfindlichkeit bereits eingestellt wurde (siehe 4,1 – **Empfindlichkeit der Sensoren**):

- **ACC-1** : Beschleunigungsmesser Typ 1 (gespeist – Typ IEPE)
- **ACC-2** : Beschleunigungsmesser Typ 2 (gespeist – Typ IEPE)
- **VEL-1** : Geschwindigkeitsmesser Typ 1 (nicht gespeist)
- **VEL-2** : Geschwindigkeitsmesser Typ 2 (nicht gespeist)
- **DIS-1** : Versetzungssensor Typ 1 (nicht gespeist)
- **DIS-2** : Versetzungssensor Typ 2 (nicht gespeist)

Das Instrument N300 versorgt bei Bedarf die angeschlossenen Sensoren automatisch und entsprechend mit Strom.



Achtung:

Damit man eine wirklich sorgfältige Messung erzielt, muss jedem Kanal der effektiv angeschlossene Sensor auch korrekt zugeordnet werden.

3. Messung:

Gibt die Art der ausgeführten Messung an:

- Overall: Gesamtschwingung
- Synchronmessung: drehzahlsynchrone Schwingungsgröße bei der Rotordrehzahl (1xRPM) oder bei ihrem Vielfachen (2xRPM, 3xRPM, 4xRPM, 5xRPM)

4. Maß- bzw. Messeinheit

Die Maß- bzw. Messeinheit auswählen, in welcher die Schwingung ausgedrückt werden soll: es bestehen folgende Möglichkeiten:

- Beschleunigung (g)
- Geschwindigkeit (mm/s oder inch/s)
- Weg (µm oder mils)



Achtung:

Sollte man Versetzungssensoren verwenden, kann man Versetzungs- und Geschwindigkeitsmessungen vornehmen aber keine Beschleunigungsmessungen.

5. Schwingungsart

Wie alle physikalischen Größen kann auch die Schwingungsgröße von Moment zu Moment variieren: mathematisch lässt sie sich als eine Funktion der Zeit beschreiben. Ihr Gesamtwert kann auf drei unterschiedliche Arten berechnet werden:

- **RMS** (*Root Mean Square*): Durchschnittswert zum Quadrat
ist der Durchschnittswert der Schwingung zum Quadrat;
wird am meisten genutzt, insbesondere zum Messen von Beschleunigung oder Geschwindigkeit (Drehzahl). Ist ein direktes Indiz für den „energetischen“ Inhalt der Schwingung: stellt praktisch die Schwingungsstärke dar, die sich auf die Lager oder die Halterungen der vibrierenden Struktur entlädt.
- **PK** (*Peak*): Spitzenwert
ist der Höchstwert, der von der Schwingung in einem bestimmten Zeitintervall erreicht wurde.
- **PP** (*Peak-to-Peak*): Spitze – Spitze - Wert
ist die Differenz zwischen dem Höchstwert und dem Mindestwert, die von der Schwingung in einem bestimmten Zeitintervall erreicht wurden;
wird nur zum Messen von Bewegungen (Versetzungen bzw. Verschiebungen) benutzt.

6. Einheit der Frequenz

Gibt an, wie Geschwindigkeiten (Drehzahlen) und Frequenzen ausgedrückt werden sollen, man kann wählen zwischen:

- Hz – Zyklen (Umdrehungen) pro Sekunde
- RPM – Umdrehungen pro Minute

Hinweis:

Zwischen den beiden Einheiten existiert offensichtlich die Beziehung $1 \text{ Hz} = 60 \text{ RPM}$.

Nur für Overall Messungen gültige Einstellungen

1. Frequenzbereich

Die Schwingungsgesamtgröße ist in der Regel eine Summe aus unterschiedlichen Beiträgen. Diese Beiträge werden durch zahlreiche Phänomene verursacht, die jeweils bei unterschiedlichen Frequenzen auftreten. Je nach Fall ist der *Overall* Wert in der Regel nur von den Phänomenen interessant, die bei einem bestimmten Frequenzbereich auftreten:

- 1-100 Hz wenn das Interesse auf Phänomene bei niedrigen Frequenzen begrenzt ist
- 2-200 Hz wenn das Interesse auf Phänomene bei relativ niedrigen Frequenzen begrenzt ist
- 5-500 Hz wenn das Interesse auch auf mittlere Frequenzen gerichtet ist
- 10-1000 Hz um die Konditionen von der Norm ISO 10816-1 einzuhalten (typisch)

Hinweis:

In der Praxis wird oft die Überprüfung angestellt, ob die eingestellte Maximalfrequenz mindestens das 20-30-fache der Drehung bei der untersuchten

Welle beträgt. Auf diese Weise wird auch der Hochfrequenzbereich ins Spektrum mit einbezogen, in dem normalerweise mit den Lagern zusammenhängende Probleme auftreten.

Hinweis:

Im Vergleich zu anderen Konditionen ruft die Wahl einer niedrigen Maximalfrequenz (unter 1000 Hz) einen erheblichen Anstieg der zur Messung notwendigen Zeiten hervor.

2. Anzahl der Mittelwerte

Wird neben dem Symbol N angegeben und gibt die Anzahl der Spektren an, die berechnet und untereinander gemittelt werden müssen um die Messstabilität zu erhöhen. Es werden alle Werte zwischen 1 und 16 akzeptiert, aber 4 sind für normale Schwingungsmessungen bei rotierenden Maschinen vollkommen ausreichend.

Nur für Synchronmessungen gültige Einstellungen

1. Breite des Synchronfilters

Dieser Parameter wird aus historischen Gründen als Breite des Synchronfilters bezeichnet, er wird neben dem Symbol  angezeigt und als Prozentzahl gemessen. Er gibt die Auflösung der Synchronanalyse in Frequenz an, d.h. die Fähigkeit des Instruments die Beiträge der diversen Frequenzen voneinander zu trennen.

Es stehen Werte zwischen 1% bis 100% zur Verfügung.

Ein Wert von z.B. 5% gibt an, dass bei der Berechnung des Synchronwertes der Beitrag aller Frequenzen des Bereiches $1xRPM \pm 5\%$ berücksichtigt wird (die nicht voneinander unterschieden werden können).

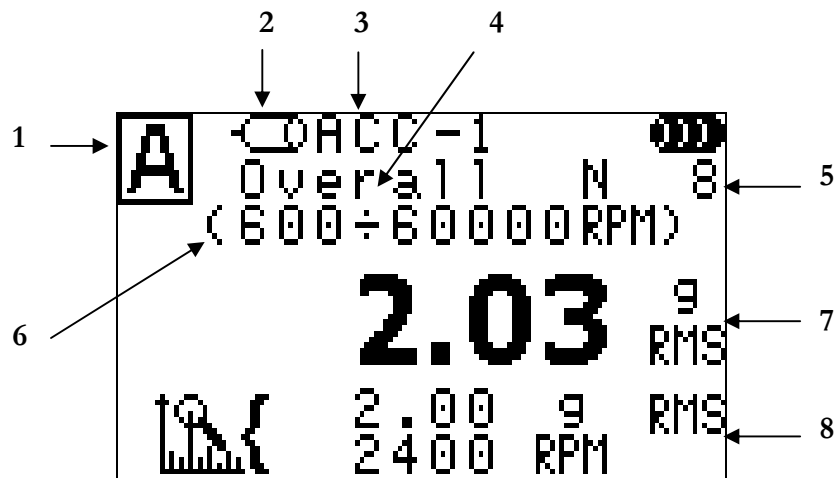
Nicht vergessen, dass kleinere Werte (d.h. engere Filter) sicherlich zu genaueren Messungen führen, aber erheblich längere Messzeiten zur Folge haben. Bei einem Filter von z.B. 1% und besonders langsamen Rotoren (60 RPM) muss man einige Minuten abwarten, bevor die Messung beendet ist.

Zum Einstellen dieses Parameters sollte man den richtigen Kompromiss zwischen Sorgfalt und erforderlicher Zeit treffen.

Nachdem die gewünschten Einstellungen vorgenommen wurden, bestätigt man durch Drücken von  die eingegebenen Werte; durch Drücken von  ist es hingegen möglich die Eingabe zu verlassen ohne Änderungen an den vorherigen Werten vorgenommen zu haben.

Messergebnisse

Auf der Schwingungsmesserseite werden die Messergebnisse so angezeigt, dass die Informationen klar und komplett sind.



Overall Messung:

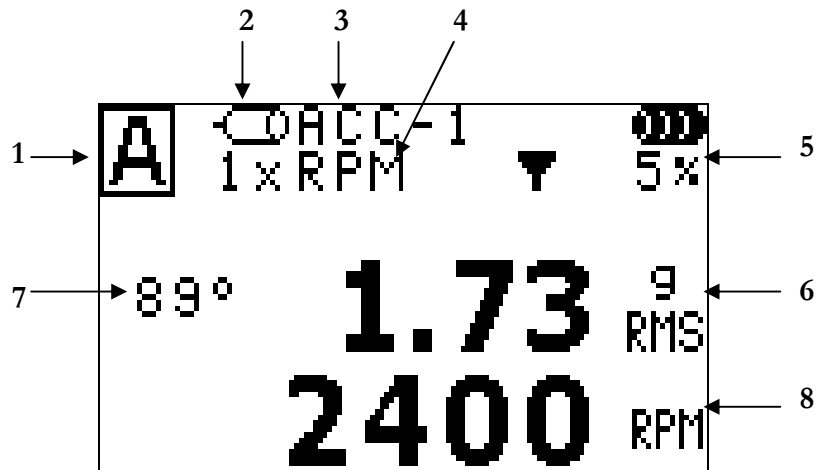
1. Kanal, auf den sich die angezeigte Messung bezieht
2. Status des angezeigten Kanals:
 -  = befähigt
 -  = deaktiviert
3. an Kanal angeschlossener Sensor
4. durchgeführte Messung (*Overall*)
5. Anzahl der Mittelwerte
6. Frequenzbereich
7. Schwingungsgröße, mit Einheit und Typ
8. Amplitude und Frequenz der größten Schwingungskomponente. Je mehr die Schwingung aus diversen Komponenten besteht, desto höher wird der Overall Wert als die Amplitude der dominierenden Komponente sein. Sind die beiden Werte sehr ähnlich, hat die Schwingung praktisch die Form einer Sinuskurve.

Die Messung kann durch Drücken von  gestartet und angehalten werden.

Hinweis:

Die auf diese Art und Weise erzielten Werte können zur Bewertung des Betriebszustands einer Apparatur herangezogen werden, unter Zuhilfenahme der Tabellen und Diagramme aus **Anhang B** dieses Handbuchs.

Synchronmessung:



1. Kanal, auf den sich die angezeigte Messung bezieht
2. Status des angezeigten Kanals:
 -  = befähigt
 -  = deaktiviert
3. an Kanal angeschlossener Sensor
4. Ordnung der gemessenen Harmonischen
 - 1xRPM = Grundfrequenz (ist mit der Drehzahl synchron)
 - 2xRPM = zweite Harmonische (Frequenz ist doppelt so hoch wie die Drehzahl)
 - 3xRPM = dritte Harmonische (Frequenz ist dreimal so hoch wie die Drehzahl)
 - 4xRPM = vierte Harmonische (Frequenz ist viermal so hoch wie die Drehzahl)
 - 5xRPM = fünfte Harmonische (Frequenz ist fünfmal so hoch wie die Drehzahl)
5. Filterbreite
6. Schwingungsgröße, mit Einheit und Typ
7. Phase der Schwingung in Grad ($0^\circ \div 359^\circ$)
8. Frequenz der gemessenen Harmonischen; fällt bei 1xRPM mit der Drehzahl zusammen, ist sonst das Doppelte, Dreifache, ...

Die Messung kann durch Drücken von  gestartet und angehalten werden.

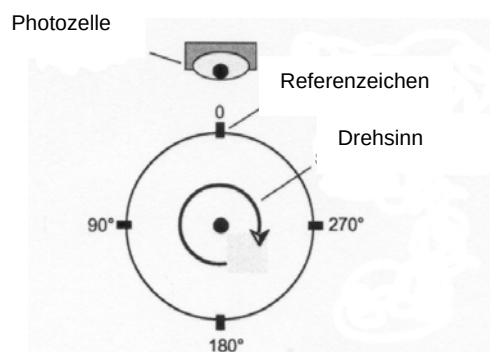
Für eine korrekte Messung ist es wichtig, dass die Wellendrehzahl stabil ist und korrekt vom Instrument abgelesen wird. Sollte diese nicht korrekt abgelesen werden, instabil, geringer als die Mindestdrehzahl oder größer als die Maximaldrehzahl sein (siehe Anhang A), erscheint eines der folgenden Symbole:

Symbol	Kondition	Abhilfe
	Drehzahl im Lauf der Zeit instabil	- Überprüfen, ob der Rotor eine Beschleunigungsrampe ausführt: das Ende der Rampe abwarten. - Überprüfen, ob die Rotordrehzahl periodisch schwankt: alle erdenklichen Gegenmaßnahmen treffen um diese zu stabilisieren.
	Es geht kein Geschwindigkeitssignal ein oder liegt unterhalb des für das Instrument zulässigen Mindestwertes	- Überprüfen, ob Photozelle und Rückstrahler richtig positioniert sind. - Überprüfen, ob die Photozelle in einem Punkt mit zu hohen Schwingungen positioniert ist und die Reflexion auf dem Rückstrahler behindert wird. - Überprüfen, ob die Rotordrehzahl die Mindestdrehzahl überschreitet: andernfalls diese erhöhen.
	Drehzahl überschreitet den für das Instrument zulässigen Höchstwert	- Überprüfen, ob Photozelle und Rückstrahler korrekt positioniert sind (sollten sie mehr als einen Impuls pro Runde hervorrufen, erzeugen sie eine nicht reale hohe Geschwindigkeit) - Liegt die Rotordrehzahl effektiv über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, muss diese verringert werden

Hinweis:

Nicht vergessen, dass zum Ausführen einer Synchronmessung die Photozelle angeschlossen und richtig positioniert sein muss, hierzu die nachstehenden Anweisungen befolgen:

- Als (0°) Referenzzeichen ein Stück selbstklebendes Reflexionsband (oder Schild) auf dem Rotor anbringen. Ab diesem Punkt werden die Winkel dem Wellendreh Sinn entgegengesetzt gemessen.



- die Photozelle am Instrument N300 anschließen und mit einem Abstand von etwa 50 bis 400 mm zum Rotor platzieren. Langsam den Rotor drehen (möglichst von Hand, sonst so langsam wie möglich). Überprüfen, dass die auf der Rückseite der Photozelle angebrachte LED nur ein einziges Mal pro Runde aufleuchtet, wenn der Lichtstrahl auf das Referenzzeichen trifft. Sollte das nicht der Fall sein, die Photozelle dem Werkstück annähern oder von diesem entfernen bzw. gegenüber seiner Oberfläche neigen.



Achtung:

In allen Phasen zur Positionierung der Photozelle sehr sorgfältig vorgehen: da der Rotor von Hand zu drehen ist, sich vergewissern, dass dieser stillsteht und nicht ungewollt angeworfen werden kann.

Sollte der Rotor beim Positionieren der Photozelle nicht von Hand gedreht werden können, die Photozelle vorzugsweise dort anbringen, wo die LED abgelesen werden kann ohne sich zu sehr den sich drehenden Teilen nähern zu müssen.

Zusatzfunktionen

Nach Drücken der Taste  zeigt die Leiste mit den Zusatzfunktionen, die auf der Schwingungsmesserseite zur Verfügung stehen:

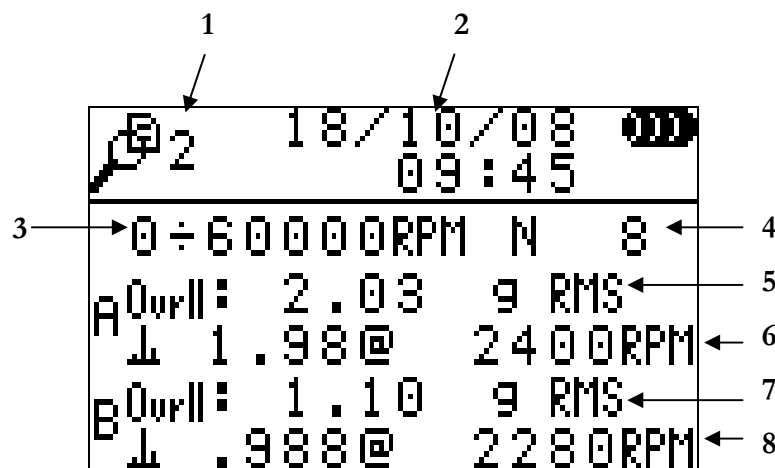


Zugang zum Schwingungsmessungsarchiv (siehe nachfolgenden Abschnitt).

Anzeige der Messungen aus Archiv

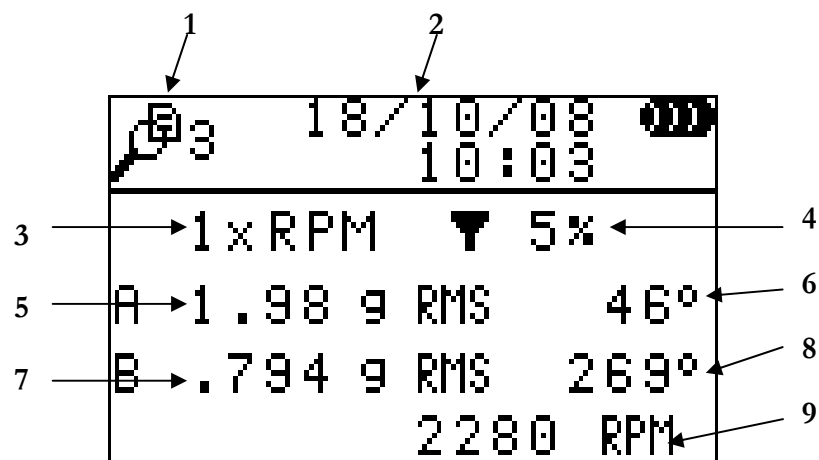
Die aus dem Archiv geladenen Schwingungsmessungen werden auf einer eigens dafür vorgesehenen Bildschirmseite angezeigt, die wie folgt unterteilt ist:

- **Overall Schwingungsmessung:**



1. Positionsnummer im Messungsarchiv
2. Datum und Uhrzeit der Abspeicherung
3. benutzter Frequenzbereich
4. Anzahl der Mittelwerte
5. Gesamtschwingung (*Overall*) von Kanal A, mit Einheit und Messart
6. größte Schwingungskomponente von Kanal A, aus Platzgründen ausgedrückt in *Wert @ Frequenz*
7. Gesamtschwingung (*Overall*) von Kanal B, mit Einheit und Messart
8. größte Schwingungskomponente von Kanal B, aus Platzgründen ausgedrückt in *Wert @ Frequenz*

- **Messung der drehzahlsynchronen Schwingung**



1. Positionsnummer im Messungsarchiv
2. Datum und Uhrzeit der Abspeicherung
3. Rang *K* der (gegenüber der Drehzahl) gemessenen Harmonischen
4. Breite des Synchronfilters
5. Amplitude der Schwingung von Kanal A, mit Einheit und Messart
6. Phase der Schwingung von Kanal A
7. Amplitude der Schwingung von Kanal B, mit Einheit und Messart
8. Phase der Schwingung von Kanal B
9. Frequenz der gemessenen Harmonischen (entspricht *K*–Mal der Drehzahl)

Betriebsart Auswuchten

Eine in der Praxis am häufigsten auftretende Vibrationsursache ist die Unwucht eines rotierenden Teils (Ungleichförmigkeit der Masse um ihre Drehachse herum), die mit Hilfe einer Auswuchtprozedur korrigiert werden kann.

Der Apparat N300 ermöglicht das Auswuchten jedes Rotors unter Betriebsbedingungen, auf einer oder zwei Ebenen und zwar durch den Einsatz eines oder zweier Schwingungsaufnehmer und einer Photozelle.

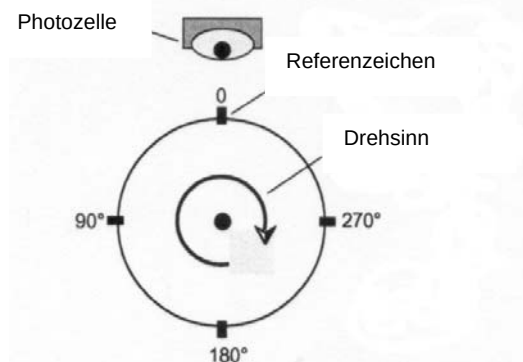
Für alle Situationen stehen eigens dafür vorgesehene Prozeduren zur Verfügung, die den Bediener bei den Arbeitsschritten begleiten.

Was in der Praxis i.d.R. am meisten interessiert, ist die Verringerung der Schwingung unterhalb eines gewissen Wertes, der noch als tolerierbar angesehen werden kann (siehe **Anhang B**). Die Verringerung der Unwucht hat jedoch nur Auswirkungen auf die Synchronkomponente $1\times RPM$. Eine geringe Größe dieser Komponente, begleitet von einem hohen *Overall* weist auf diverse Problematiken bei der Unwucht hin, die nicht durch ein Auswuchten ausgeglichen werden können (siehe **Anhang C**).

Bevor man also mit dem Auswuchten beginnt, sind im Vorfeld Umfang und Ursache der Schwingung zu analysieren: unter Nutzung der Betriebsart Schwingungsmesser empfiehlt es sich mit dem Gerät N300 eine Messung der Gesamtschwingung vorzunehmen (*Overall*) und die Messung der drehzahlsynchronen Schwingung $1\times RPM$ (siehe Kap. 5 – **Betriebsart Schwingungsmesser**). Nur wenn die letztgenannte dominiert, empfiehlt sich ein Auswuchten; andernfalls sollte man sich lieber auf die Lösung anderer Problematiken bei der Maschine konzentrieren.

Für ein korrektes Auswuchten sind einige Regeln zu beachten:

- die Sensoren so nah wie möglich an den Lagern des auszuwuchtenden Rotors anordnen, für eine gute Wiederholbarkeit der Messungen den Magnethalter oder die Befestigung mit Hilfe des Gewindelochs nutzen;
- eine rückstrahlende Plakette auf dem Rotor als Referenzeichen anbringen (0°). Ab dieser Position werden die Winkel der Wellendrehrichtung entgegengesetzt gemessen.



- die Photozelle am Instrument N300 anschließen und mit einem Abstand von etwa 50 bis 400 mm zum Rotor platzieren. Langsam den Rotor drehen (möglichst von Hand, sonst so langsam wie möglich). Überprüfen, dass die auf der Rückseite der

Photozelle angebrachte LED nur ein einziges Mal pro Runde aufleuchtet und zwar wenn der Lichtstrahl auf das Referenzzeichen trifft. Sollte das nicht der Fall sein, die Photozelle dem Werkstück gegenüber annähern oder von diesem entfernen bzw. gegenüber seiner Oberfläche neigen.



Achtung:

In allen Phasen zur Positionierung der Photozelle sehr sorgfältig vorgehen: da der Rotor von Hand zu drehen ist, sich vergewissern, dass dieser stillsteht und nicht ungewollt angeworfen werden kann.

Sollte der Rotor beim Positionieren der Photozelle nicht von Hand gedreht werden können, die Photozelle vorzugsweise dort anbringen, wo die LED abgelesen werden kann ohne sich zu sehr den sich drehenden Teilen nähern zu müssen.

Weitere Hinweise sind in der Anlage **Auswuchtgenauigkeit steifer Rotoren** zu entnehmen.

Die Auswuchtprozedur besteht aus zwei Teilen:

- Kalibrieren: mit Hilfe einiger Läufe lassen sich für einen bestimmten Rotor die zur Auswuchtung notwendigen Parameter festlegen
- Unwuchtmessung und Berechnung der Korrektur

Auch wenn die Kalibrierung gewöhnlich eine arbeitsaufwendige Prozedur ist, ist es unverzichtbar, dass sie korrekt ausgeführt wird, damit bei der anschließenden Berechnung der Ausgleichsmassen keine Fehler eingeführt werden. Das Gerät speichert automatisch Daten und Parameter der zuletzt vorgenommenen Auswuchtung ab und schlägt sie dem Bediener beim nächsten Aufrufen der Kalibrierseite wieder vor, auch bei einem Wiedereinschalten des Geräts.



Anmerkung:

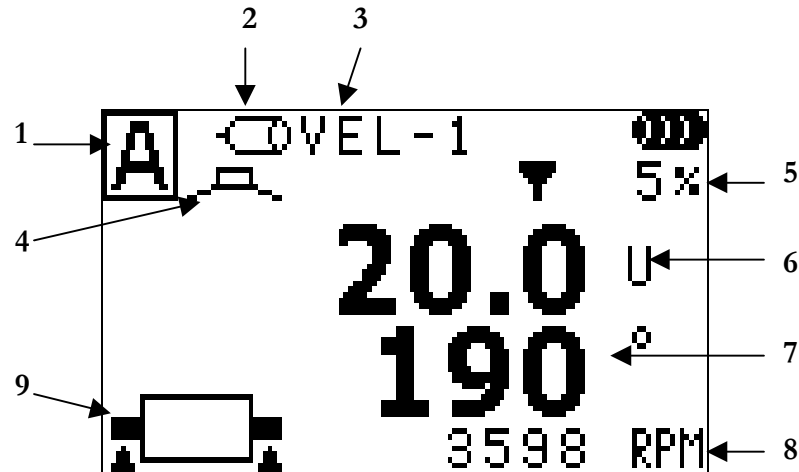
Um die Kalibrierparameter einer vorherigen Auswuchtung erneut nutzen zu können, müssen die am Rotor montierten Signalaufnehmer unbedingt wieder in der gleichen Position eingebaut werden. Dies ist relativ einfach bei Gewindebohrungen, schwieriger jedoch mit Magnethaltern. Ein geringer Unterschied bzw. nur wenige Millimeter reichen aus um die vorherige Kalibrierung ungültig werden zu lassen.

Für eine höhere Genauigkeit empfiehlt es sich, vor jedem neuen Auswuchten eine vollständige Kalibrierung vorzunehmen.

Messung der Unwucht und Berechnung der Korrektur

Wählt man das Symbol  auf der Hauptbildschirmseite aus, bekommt man Zugang zur Auswuchtfunktion: auf Grundlage der Parameter der zuletzt durchgeführten Kalibrierung wird die Größe der auf Ebene P1 anzubringenden Korrekturmasse angezeigt. Sollte es sich um einen Auswuchtvorgang in zwei Ebenen handeln, wird durch Drücken der Taste  die Korrekturmasse auf Ebene P2 angezeigt.

Auf dieser Seite sind die folgenden Informationen präsent:



1. Kanal, auf den sich die angezeigte Korrektur bezieht (aus Einfachheitsgründen bezieht sich Kanal A auf Ebene P1 und Kanal B auf Ebene P2)
2. Status des angezeigten Kanals:
 -  = befähigt
 -  = deaktiviert
3. an Kanal angeschlossener Sensor
4. Korrektur bzw. Ausgleich durch Zugabe von Masse
5. Breite des Synchronfilters
6. Wert der Korrekturmasse ausgedrückt in allgemeiner Einheit U: die Übereinstimmung zwischen U und der realen Maß- bzw. Messeinheit (mg, g, kg, ...) wird bei der Kalibrierung bestimmt (siehe 6 – **6 Kalibrierprozedur**).
7. Winkellage, in der die Korrekturmasse am Rotor angebracht wird (0° bis 359°)
8. Rotordrehzahl, bei der die Messung vorgenommen wurde und bei der die Korrekturmasse berechnet wurde
9. Auswuchtart:

-  In 1 Ebene (mit 1 Sensor)
-  2 Ebenen mit 2 Sensoren
-  2 Ebenen mit 1 Sensor, angebracht auf Ebene P1
-  2 Ebenen mit 1 Sensor, angebracht auf Ebene P2

Sollte man ein Auswuchten in 2 Ebenen mit nur einem Sensor vornehmen, kann die Unwuchtberechnung erst dann stattfinden, nachdem die Schwingung auf beiden Ebenen vorgenommen wurde. Die Messläufe sind deshalb paarweise vorzunehmen, indem der Signalaufnehmer abwechselnd auf beiden Ebenen platziert wird. Die Angabe der jeweils zu verwendenden Ebene wird vom Symbol „Auswuchtart“ angezeigt, so wie es oben beschrieben ist. In dieser Situation wechselt das Drücken der Taste  die Ebene, auf

welcher der Sensor angebracht werden muss. Dieser muss immer am Kanal A des Geräts N300 angeschlossen bleiben. Die Ebene, an welcher der Signalaufnehmer angebracht ist, ist auch diejenige, der die angezeigte Korrektur entspricht.



Achtung:

Da beim Auswuchten in zwei Ebenen mit nur einem Sensor der Signalaufnehmer mehrmals von einer zur anderen Ebene versetzt werden muss, ist es wichtig, dass er jedes Mal in die gleiche Position gebracht wird. Aus diesem Grund sollte man auf Gewindebohrungen zurückgreifen, die die unvermeidbaren Fehler auf ein Minimum verringern, die durch das Versetzen des Sensors hervorgerufen werden. Die Prozedur ist auf jeden Fall lange und arbeitsaufwendig; deshalb lieber zwei Sensoren verwenden.

Die Messung der Unwucht und die gleichzeitige Berechnung der Korrekturmasse kann durch das Drücken von  gestartet und gestoppt werden.

Das Auswuchten eines Rotors unter Betriebsbedingungen ist in den meisten Fällen eine sich wiederholende Prozedur:

- man führt eine Messung aus und die notwendige Ausgleichsmasse (Korrekturmasse) wird festgelegt
- die erforderliche Masse wird am Rotor angebracht, wobei Wert und Position größtmöglich eingehalten werden
- eine neue Unwuchtmessung wird ausgeführt, um die Auswirkung der vorgenommenen Korrektur zu überprüfen
- sollte die Restunwucht noch zu hoch sein, erfolgt ein neuer Ausgleich (neue Korrektur) usw.

Sollte die notwendige Korrektur geringer als die gewünschte Toleranz sein, wird der Auswuchtzyklus als abgeschlossen angesehen. Es empfiehlt sich auf jeden Fall eine Überprüfung der verbleibenden Schwingung, sowohl der drehzahlsynchronen Komponente $1\times RPM$ (an die Unwucht gebunden), als auch der Gesamtschwingung *Overall* (hängt von anderen Ursachen ab). Zu diesem Zweck die Betriebsart Schwingungsmesser nutzen (siehe **Kap. 5 – Betriebsart Schwingungsmesser**), hierbei den gleichen Wert für die Breite des Synchronfilters einstellen.

Hinweis:

Bei einem instabilen Signal kann der Messwert empfindlich schwanken, in diesem Fall sollte man zum Erhöhen der Präzision die Breite des Synchronfilters verringern (siehe **5 – 4 Breite des Synchronfilters**) und folglich auch die Kalibrierung wiederholen.



Achtung:

Damit die Auswuchtergebnisse auch zuverlässig sind, muss die Rotordrehzahl beim Messen so nah wie möglich an der Kalibrierdrehzahl sein. Variationen in der Größenordnung von ca. 5% sind tolerierbar.

Um den Bediener daran zu erinnern, dass die Variation einer der Auswuchtparameter eine neue Kalibrierprozedur nach sich zieht, sind diese Variationen nur auf der Kalibrierseite möglich (siehe **6 – 6 Kalibrierprozeduren**) und nicht direkt von der Unwuchtmessseite aus.

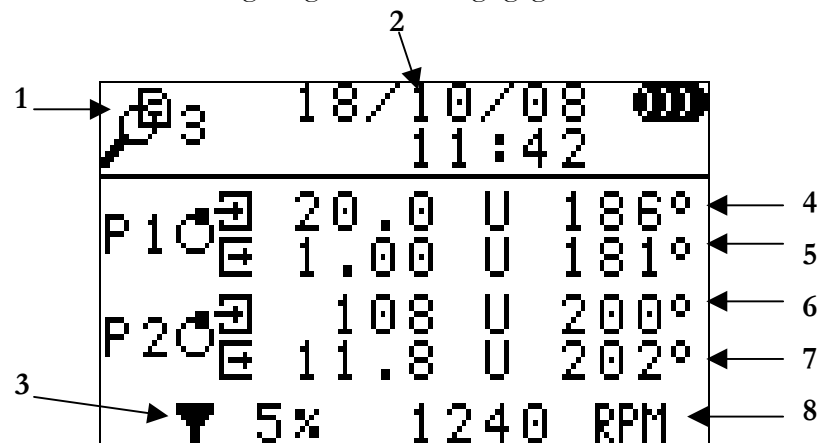
Zusatzfunktionen

Durch das Drücken der Taste  ruft man die Zusatzfunktionen auf, die auf der Unwuchtmessseite in der Betriebsart Auswuchten zur Verfügung stehen:

-  Zugriff auf die Kalibrierwerte für das aktuelle Auswuchten (siehe **6 – 6 Kalibrierprozedur**).
Die assistierte Prozedur positioniert sich automatisch auf den ersten oder letzten Arbeitsschritt (wenn alle anderen bereits vervollständigt wurden).
-  Zugriff auf das Auswuchtarchiv (siehe nachfolgenden Abschnitt).
-  Verlassen der aktuellen Auswuchtung und Starten einer neuen Kalibrierprozedur (siehe **6 – 6 Kalibrierprozedur**).

Anzeige der Auswuchtergebnisse aus dem Archiv

Die aus dem Archiv geladenen Auswuchtungen werden auf einer eigens dafür vorgesehenen Bildschirmseite angezeigt, die wie folgt gegliedert ist:



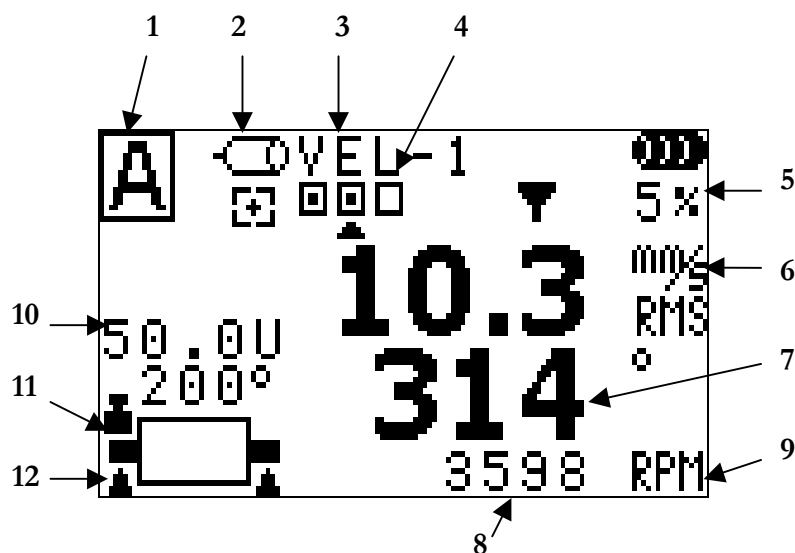
1. Positionsnummer im Auswuchtarchiv
2. Datum und Uhrzeit der Abspeicherung
3. Breite des Synchronfilters
4. Größe (in Einheit U) und Winkellage der Ausgangsunwucht auf Ebene P1
5. Größe (in Einheit U) und Winkellage der Endunwucht auf Ebene P1
6. Größe (in Einheit U) und Winkellage der Ausgangsunwucht auf Ebene P2
7. Größe (in Einheit U) und Winkellage der Endunwucht auf Ebene P2
8. Rotordrehzahl

Kalibrierprozedur

Die Kalibrierprozedur ist notwendig um die Unwucht eines Rotors bewerten zu können und besteht im Allgemeinen aus mehreren, nacheinander vorzunehmenden Schritten:

- Kalibrierung zum Auswuchten in einer Ebene:
 - 1) erster Messlauf ohne Testmasse
 - 2) zweiter Messlauf mit Testmasse in Auswuchtebene
- Kalibrierung zum Auswuchten in zwei Ebenen mit zwei Sensoren:
 - 1) erster Messlauf ohne Testmasse
 - 2) zweiter Messlauf mit Testmasse nur in Auswuchtebene P1
 - 3) dritter Messlauf mit Testmasse nur in Auswuchtebene P2
- Kalibrierung zum Auswuchten in zwei Ebenen mit nur einem Sensor:
 - 1) erster Messlauf ohne Testmasse, mit Sensor in Ebene P1
 - 2) zweiter Messlauf ohne Testmasse, mit Sensor in Ebene P2
 - 3) dritter Messlauf mit Testmasse in Ebene P1, und Sensor in Ebene P1
 - 4) vierter Messlauf mit Testmasse in Ebene P1, und Sensor in Ebene P2
 - 5) fünfter Messlauf mit Testmasse in Ebene P2, und Sensor in Ebene P1
 - 6) sechster Messlauf mit Testmasse in Ebene P2, und Sensor in Ebene P2

Die Kalibrierseite ist beim Gerät N300 wie folgt gegliedert:



1. Kanal, auf den sich die angezeigte Messung bezieht

2. Status des angezeigten Kanals:

= befähigt

= deaktiviert

3. angeschlossener Sensortyp

4. Schritte der Kalibrierprozedur

☐ noch nicht ausgeführt

☒ ausgeführt

Der ausgewählte (aktuelle) Schritt, auf den sich die angezeigten Werte beziehen, wird vom Symbol angegeben

5. Breite des Synchronfilters (siehe 5 – 4 **Breite des Synchronfilters**)

6. Größe, Messeinheit und Typ der drehzahlsynchronen Schwingung

7. Phase der drehzahlsynchronen Schwingung (0° bis 359°)

8. mittlere Drehzahl des Rotors im ausgewählten Kalibrierschritt
9. Maßeinheit der Drehzahl
10. Größe und Winkellage der Kalibriermasse
11. Ebene, in der die Testmasse anzubringen ist



Testmasse in Ebene P1



Testmasse in Ebene P2

12. Ebene, in der die Sensoren anzubringen sind



Sensor von Kanal A in P1, Sensor von Kanal B in P2



Sensor von Kanal A in P1



Sensor von Kanal A in P2



Hinweis:

Der Mittelwert der Drehzahl ist sehr wichtig, da die Kalibrierprozedur nur dann als sorgfältig ausgeführt anzusehen ist, wenn zwischen den diversen Kalibrierschritten keine Drehzahlschwankungen von mehr als 5% auftreten. Die Kontrolle dieser Voraussetzung ist Aufgabe des Bedieners.

Messeinstellungen

Die zum Messen verwendeten Einstellungen können durch das Drücken von  **nur** dann verändert werden, wenn der erste Schritt der Kalibrierprozedur ausgewählt wurde. Der veränderbare Parameter wird negativ dargestellt und mit Hilfe der Pfeile



kann man alle wählbaren Parameter durchlaufen.

Mit den Pfeilen



und



hingegen geht man zum vorherigen oder nachfolgenden Parameter über.

Drückt man , bestätigt man die neuen Werte für die Parameter; mit  hingegen verlässt man die Eingabeseite ohne Änderungen an den vorherigen Werten vorgenommen zu haben.

1. Kanalstatus

Verfügt man nur über einen Sensor, ist Kanal B zu deaktivieren. Beim Auswuchten in zwei Ebenen schaltet das Gerät bei der Prozedur mit nur einem Sensor automatisch um, ohne dass der Bediener sich darum kümmern muss.

Hinweis:

Besitzt bzw. verfügt der Kunde nur über einen Sensor, reicht es aus, dass Kanal B das erste Mal nach dem Erwerb des Instruments deaktiviert wird. Das Gerät speichert diese Vorgabe ab, die nicht jedes Mal eingestellt werden muss. Beim Kauf eines zweiten Sensors reicht es aus Kanal B zu aktivieren um ein Auswuchten in zwei Ebenen und mit zwei Sensoren vornehmen zu können (ist einfacher, schneller und mit weniger Fehlern behaftet).

2. Sensortyp

Es gelten die gleichen Erklärungen aus Absatz 5.2 – **Sensortyp**.

3. Breite des Synchronfilters

Es gelten die gleichen Erklärungen aus Absatz 5.4 – **Breite des Synchronfilters**.

4. Maß- bzw. Messeinheit

Es gelten die gleichen Erklärungen aus Absatz 5.2 – **Maß-/Messeinheit**.

5. Schwingungsart

Es gelten die gleichen Erklärungen aus Absatz 5.2 – **Schwingungsart**.

6. Einheit der Frequenz

Es gelten die gleichen Erklärungen aus Absatz 5.3 – **Einheit der Frequenz**.

7. Auswuchtart

-  in 1 Ebene
-  in 2 Ebenen (mit 1 oder 2 Sensoren, wird je nach Status von Kanal B bestimmt)

8. Testmasse

Das Kalibrieren erfordert eine oder mehrere Testmassen, die an einer bekannten Position in den diversen Korrektorebenen anzubringen sind. Diese beiden Parameter sind durch die eigens dazu vorgesehenen Zusatzfunktionen einzustellen:

 Testmassengröße

 Testmassenposition

Von der üblichen Leiste nur beim ersten Schritt aufrufbar:

- Schritt Nr.2 zum Auswuchten in nur einer Ebene
- Schritt Nr.2 für die Masse in P1 zum Auswuchten in zwei Ebenen mit zwei Sensoren
- Schritt Nr.3 für die Masse in P2 zum Auswuchten in zwei Ebenen mit zwei Sensoren
- Schritt Nr.3 für die Masse in P1 zum Auswuchten in zwei Ebenen mit nur einem Sensor
- Schritt Nr.5 für die Masse in P2 zum Auswuchten in zwei Ebenen mit nur einem Sensor

Die gewünschten Werte können Ziffer für Ziffer eingestellt werden. Die Pfeile   erhöhen oder erniedrigen die ausgewählte Ziffer um eine Einheit (wird negativ angezeigt).

Die Pfeile  und  hingegen drücken, wenn man die linke oder rechte Ziffer auswählen möchte.

Abschließend mit  die Eingaben bestätigen, sonst  drücken um die Eingaben zu annullieren.

Um die diversen Bedürfnisse in der Praxis abzudecken, kann man beim Auswuchten in zwei Ebenen eine unterschiedliche Testmasse (Größe und Winkellage) in der Ebene P1 und in der Ebene P2 festlegen.

Hinweis:

Die Größe der Testmasse ist in einer allgemeinen Einheit U anzugeben: der Bediener kann frei wählen, ob diese Einheit U mit den physikalischen Einheiten übereinstimmt (mg, g, kg, ...), die er bevorzugt. Dabei berücksichtigen, dass auch die Unwucht und der erforderliche Ausgleich in den gleichen U Einheiten angegeben werden.



Achtung:

Die Testmasse wurde dann korrekt ausgewählt, wenn sie in jedem der Messläufe dem Ausgangsmesslauf gegenüber eine ausreichend große Schwingungsvariation erzeugt.

Dies kann man als erfüllt ansehen, wenn sich folgendes einstellt:

- Variation der Größe um mindestens 30%
- Variation der Phase um mindestens 30%

Die Schwingungsmessung kann in den diversen Kalibrierungsschritten durch Drücken der Taste  gestartet und gestoppt werden. Ist der Wert ausreichend stabil und keine Wiedernormung der Messung erforderlich, kann man durch Drücken von  zum nächsten Schritt übergehen.

Das Drücken von  nach dem letzten Kalibrierschritt bringt den Bediener auf die Berechnungsseite der Unwuchtkorrektur zurück, auf welcher dem Bediener die notwendigen Korrekturmassen vorgeschlagen werden.

Programm CEMB N-Pro (Option)

Die in den Geräten N100 und N300 gespeicherten Daten können problemlos an einen PC übertragen werden, auf der Festplatte arrangiert, gespeichert und anschließend analysiert, verglichen und ausgedruckt werden...

Diese Schritte sind dank der CEMB Software N-Pro (*Professional Environment for N-Instruments*) möglich, die für Microsoft Windows Betriebssysteme zur Verfügung steht.

Die Benutzeroberfläche wurde so gestaltet, dass ihr Gebrauch intuitiv und somit auch für ungeübte Bediener sehr einfach ist.

Anmerkung

In diesem Kapitel wird allgemein vom “*Instrument N*” oder “*Gerät N*” gesprochen. Hiermit meinen wir nur die Modelle N100 und N300, bei denen die Software CEMB N-Pro verwendet werden kann (Kommunikation, Unterbringung der Daten im Archiv, Ausdrucken...).

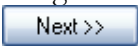
Es ist hingegen nicht möglich das Programm CEMB N-Pro mit anderen CEMB Instrumenten zu verwenden, auch wenn sie der Familie N angehören.

Systemanforderungen

Installation und Gebrauch des CEMB Programms N-Pro erfordert:

- mindestens einen Intel Pentium IV Prozessor mit 1GHz oder einen äquivalenten Athlon Prozessor;
- Arbeitsspeicher: 512MB (empfehlenswert: 1GB oder höher);
- Freien Platz auf der Festplatte: mindestens 400MB vor der Installation (beinhaltet nicht den Platz, der anschließend vom Datenarchiv besetzt wird);
- Betriebssystem:
 - Microsoft Windows 2000, mindestens das Service Pack 4
 - Microsoft Windows XP, mindestens das Service Pack 2
 - Microsoft Windows Vista
 - Microsoft Windows 7
- Bildschirmauflösung 1024x768 oder höher.

Installieren der Software

Zum Installieren der CEMB Software N-Pro ist das Programm *setup.exe* zu starten, das sich auf der CD-ROM befindet. Anschließend die Taste  anklicken, ohne irgendeine Option zu verändern.

Auf diese Weise wird die Software im Programmverzeichnis installiert.



Achtung:

Beim Installieren der Software wird ein Verzeichnis mit den Drivern für die USB Kommunikation erstellt: es ist deshalb wichtig, dass die CEMB Software N-Pro in-

stalliert wird, **bevor** das Gerät (N100 oder N300) am PC angeschlossen wird, sonst könnten Funktionsstörungen auftreten.

Hinweis:

Erfolgt die Installation unter Betriebssystemen wie Windows Vista und Windows 7, müssen die folgenden Schritte ausgeführt werden um die Software nutzen zu können:

- Mit der rechten Maustaste das Symbol des CEMB Programms N-Pro auf dem *Desktop* anklicken
- Das Menü '**Kompatibilität**' aufrufen
- Die Option '**Programm für folgenden Funktionsmodus ausführen:**' befähigen und '**Windows XP (Service Pack 2)**' wählen
- Die Option '**Programm als Administrator ausführen**' befähigen
- **OK** drücken

Installation der Driver für die USB Kommunikation (mit den Instrumenten N100 und N300)

Erst nachdem die CEMB Software N-Pro korrekt installiert wurde, das Gerät N mit Hilfe des mitgelieferten USB Kabels an den PC anschließen; nach einigen Sekunden wird folgendes angezeigt:

- **Neue Hardware gefunden**
- **USB <-> Serial**

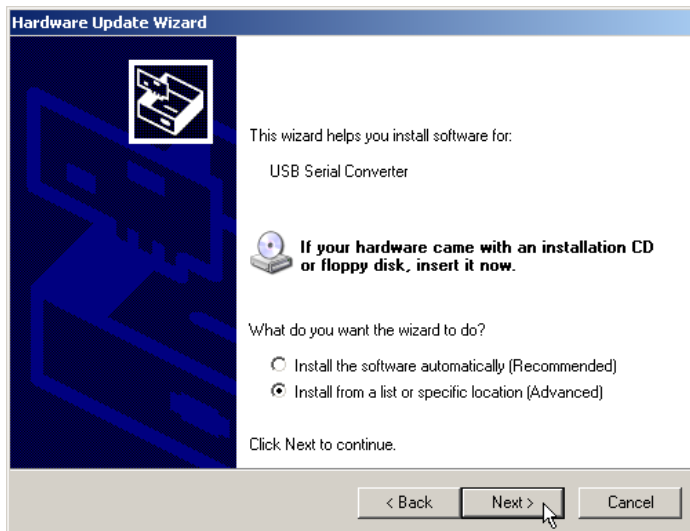
in der Windows Leiste (Ecke unten rechts).

Dann erscheint das Fenster mit der assistierten Prozedur zum Hinzufügen neuer Hardware.

Bei der Frage, ob Windows dazu autorisiert werden soll, zum Suchen der Driver mit dem Internet Verbindung aufzunehmen, die Option '**Nein, dieses Mal nicht**' wählen und '**Weiter >**' drücken.



- Dann '**Von einer bestimmten Position aus installieren (Fortgeschritten)**' und nochmals '**Weiter >**' drücken.



Die Optionen **‘Den besten Driver in diesen Pfaden suchen’** und **‘Diesen Pfad in die Suche einschließen’** befähigen. Mit der Drucktaste **‘Suchen’** das Unterverzeichnis **‘USB Driver’** in dem Pfad auswählen, in dem die CEMB Software N-Pro installiert wurde. Erst dann auf **‘Weiter >’** klicken.

Am Ende dieser assistierten Prozedur ist die Hardware **‘USB Serial Converter’** korrekt installiert.

Abwarten, bis in der Windows Leiste eine neue Nachricht erscheint:

- **Neue Hardware gefunden**
- **USB Serial Port**

und bis ein zweites Fenster erscheint: die assistierte Prozedur zum Hinzufügen einer neuen Hardware.

Zum Installieren der Hardware **‘USB Serial Converter’** genau die gleichen Schritte ausführen.

Erst jetzt können der PC und die Apparate N100 und N300 korrekt miteinander kommunizieren.

Hinweis:

Um die Installation von Software und Driver korrekt ausführen zu können, muss man die Administrator Rechte beim verwendeten PC haben; dies ist möglich, wenn man ein *login* als *Administrator* vornimmt.

Aktivieren der Software

Beim ersten Ausführen der Software wird ein aufklappendes Fenster angezeigt, dies gibt die Seriennummer (S/N) der Software an und der Bediener wird zur Eingabe des Aktivierungscode aufgefördert.

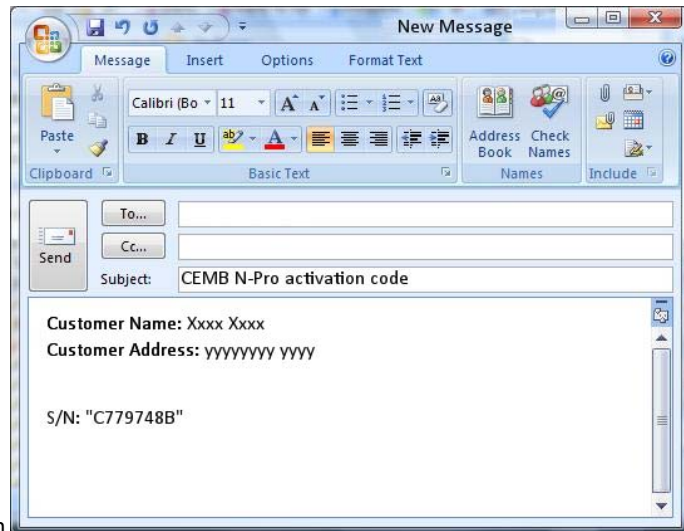
Diesen kann man per E-Mail beim Kundendienst ,Division Schwingungsanalyse' per E-Mail erfragen.
(v. www.cemb.com)

Folgendes Objekt angeben:

"CEMB N-Pro activation code"

und in der E-Mail-Nachricht die eigenen Daten und die Seriennummer (S/N) angeben, die dem Fenster zu entnehmen ist.

Der CEMB Kundendienst antwortet per E-Mail, diese enthält den jeweiligen Aktivierungscode (AC)



Achtung:

Um die Registrierung der CEMB Software N-Pro zu vervollständigen, ist das Programm mit Administratorrechten auf dem PC zu starten. Anschließend kann das Programm auch von Bedienern mit begrenzteren Rechten ausgeführt werden.

Hinweis:

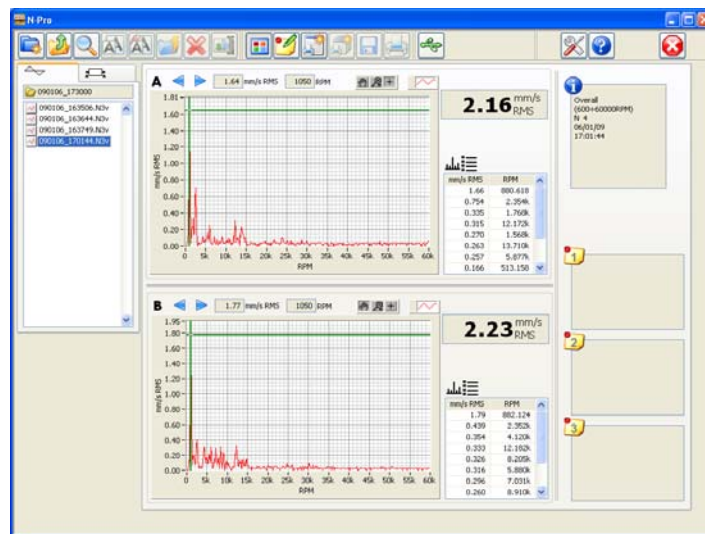
Das Drücken von **“später registrieren”** gestattet einen zeitweiligen Gebrauch der Software in Erwartung des korrekten Aktivierungscode durch den CEMB Kundendienst.



Achtung:

Die Installierung der CEMB Software N-Pro erfordert für jeden PC einen anderen Aktivierungscode und jeder ist bei CEMB mit den oben beschriebenen Modalitäten anzufordern.

Gebrauch der Software



Mit den Drucktasten auf der Funktionsleiste hat man auf alle in der CEMB Software N-Pro zur Verfügung stehenden Funktionen Zugriff. Besagte Leiste befindet sich im oberen Bildschirmbereich.

Auf der linken Seite ist immer der Inhalt des Datenarchivs zu sehen, unterteilt in:

-  Schwingungsmessungen (Gesamt- oder drehzahlsynchrone Schwingung)
-  Auswuchtungen

Der verbleibende Platz ist Kontextinformationen reserviert, je nach gerader aktiver Funktion, wie in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben ist.

Funktionsleiste

In der Funktionsleiste sind die Drucktasten je nach Typ gruppiert:

- **das Datenarchiv betreffende Funktionen:**
 -  ein neues Verzeichnis anlegen
 -  den Inhalt des übergeordneten Verzeichnisses anzeigen
 -  im Archiv suchen
 -  das ausgewählte Element kopieren
 -  das ausgewählte Element versetzen
 -  das zu kopierende oder zu versetzende Element in der angezeigten Position einfügen
 -  das ausgewählte Element löschen
 -  das ausgewählte Element umbenennen

- **Funktionen zur Anzeige der Archivelemente:**

-  zeigt das ausgewählte Element an
-  verändert die dem angezeigten Element zugeordneten Anmerkungen (Schwingungs- oder Auswuchtmessung). Für eine maximale Flexibilität können jedem Element 3 unterschiedliche Anmerkungen zugeordnet werden: der Bediener kann nach eigenem Ermessen die Informationen einfügen, der er Mal für Mal am geeignetsten hält.
-  erzeugt und zeigt einen *Report* des ausgewählten Elements an
-  erzeugt und zeigt einen *Multi-Report* der ausgewählten Elemente an
-  speichert den erzeugten *Report* (oder *Multi-Report*) ab
-  druckt den erzeugten *Report* (oder *Multi-Report*) aus

- **Funktion für den Datenimport von den Geräten N100 und N300:**

-  /  startet / beendet die automatische Datenimportprozedur vom Gerät N über die USB Verbindung

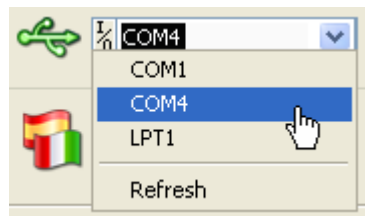
- **Allgemeine Funktionen:**

-  Öffnet das Fenster ‚Einstellungen‘
-  zeigt eine Tafel mit den Informationen zur Software an (Hersteller, Version, ...)
-  beendet das Programm

Allgemeine Einstellungen

In diesem Fenster sind die allgemeinen Betriebsparameter der CEMB Software N-Pro einzustellen, wie:

- der Ausgang des PC, an den das Gerät N angeschlossen werden soll, dies wird eine der zur Verfügung stehenden seriellen COMx sein, die beim Anklicken des Aufklappmenüs angezeigt werden:



Hinweis:

Um den Ausgang richtig auszuwählen, sollte man wie folgt vorgehen:

- mit dem **noch nicht an den PC angeschlossen** Instrument N auf das Aufklappmenü klicken und *Refresh* anwählen, sich die Liste der zur Verfügung stehenden Ausgänge notieren;

- das Instrument N an den PC anschließen und einige Sekunden abwarten;
- erneut das Aufklappenmenü anklicken und *Refresh* anklicken;
- der Ausgang, an den das Gerät angeschlossen ist, ist derjenige, der sich zur notierten Liste hinzugesellt hat.



Achtung:

Es empfiehlt sich das Instrument N immer an den gleichen USB Ausgang des PC anzuschließen. Andernfalls ist die Nummer des COM Ausgangs im Fenster Allgemeine Einstellungen abzuändern und in einigen Fällen sogar die USB Driver Installation zu wiederholen.

- Die Sprache der Hinweise kann in einem Aufklappenmenü gewählt werden, man kann wählen unter
 - Italiano
 - English
 - Français
 - Deutsch
 - Español
- der Pfad des Basisverzeichnis (DB_N-Pro) des Datenarchivs auf dem PC innerhalb dessen die Unterverzeichnisse auf dem PC erstellt werden
 - vibr für die Schwingungsmessungen
 - bal für die Auswuchtdaten

Nachdem die Werte eingestellt wurden,  drücken.

Zum Verlassen des Fensters ohne irgendeine Auswahl getroffen zu haben  drücken.

Auslesen der Daten aus dem Instrument N100 oder N300

Nachdem das Instrument N an den PC angeschlossen wurde, nachdem die Einstellung des USB Ausgangs mit der CEMB Software N-Pro überprüft und eventuell abgeändert wurde, kann man automatisch alle im Archiv des Instrument N präsenten Daten auslesen lassen: einfach  anklicken.

Danach braucht man nur noch den Hinweis abzuwarten, der den Abschluss dieser Operation mitteilt, ohne irgendeine Taste drücken zu müssen. Das fortschreitende Auslesen der Daten wird dadurch angezeigt, dass sich eine horizontale Leiste progressiv füllt. Diese Prozedur erzeugt in jedem der beiden Archive (Schwingung und Auswuchtung) ein Verzeichnis, dessen Name unter Zuhilfenahme von Uhrzeit und Datum erzeugt wird und zwar im Format AAMMGG_hhmmss, wobei:

- AA = die letzten beiden Ziffern des Jahres sind
- MM = der Monat des Jahres ist (01 Januar; 02 Februar; ... 12 Dezember)
- GG = Tag des Monats ist
- hh = die Uhrzeit ist (00 ... 23)
- mm = die Minuten sind (00 ... 59)
- ss = die Sekunden sind (00 ... 59)

Auf diese Weise werden die Messungen automatisch in Reihenfolge angezeigt.

Fortgeschrittene Benutzer oder mit besonderen Bedürfnissen können dies Verzeichnis nach Wunsch umbenennen, sowie den gesamten Inhalt oder einen Teil davon kopieren oder versetzen.

Hinweis:

Das Drücken von  vor Abschluss des Datentransfers ruft eine sofortige Beendigung dieser Operation hervor, die somit nicht vervollständigt wird.

Hinweis:

Das Auslesen der Daten aus dem Instrument verändert auf keinerlei Art und Weise das im Gerät vorhandene Archiv: nachdem der Bediener überprüft hat, dass der Datentransfer zum PC korrekt erfolgt ist, kann er entscheiden ob die Daten vom Instrument gelöscht werden sollen, so wie in **2 – 4 Messarchiv** beschrieben ist.

Hinweis:

Die Auswuchtdaten stehen nur für das Gerät N300 zur Verfügung. Das Modell N100 führt hingegen nur Schwingungsmessungen aus und speichert diese ab.

Archiv der vom Instrument N100 oder N300 importierten Daten

Die CEMB Software N-Pro unterteilt das Datenarchiv auf dem PC in zwei Unterarchive, eins für die Schwingungsmessungen (Symbol ) und eins für die Auswuchtdaten (), die der Benutzer nach Wunsch handhaben kann.

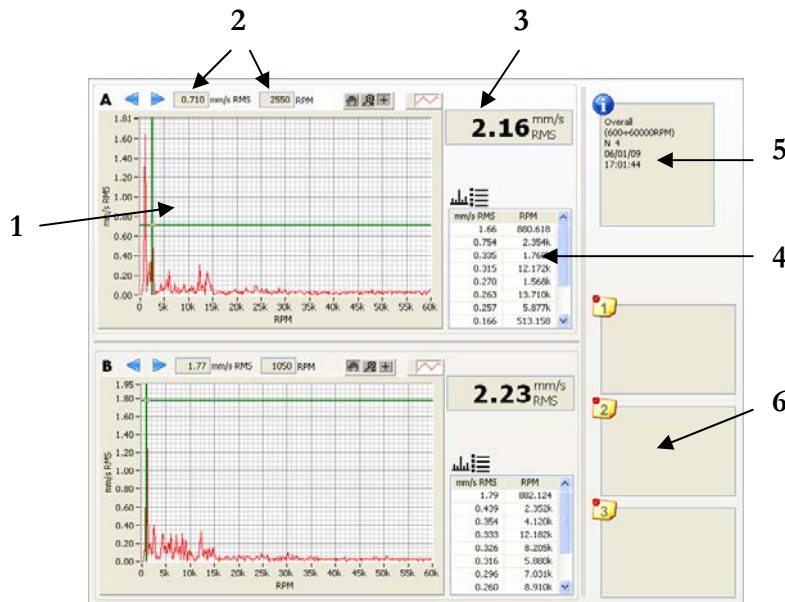
Mit der Taste  können zum Unterteilen der Daten Verzeichnisse und Unterverzeichnisse erstellt werden, diese können z.B. nach Typ, Datum, Bediener, Uhrzeit etc. gegliedert werden. Mit den Tasten ,  und  kann man einzelne Dateien oder ganze Verzeichnisse kopieren oder versetzen. Auch das Umbenennen oder Löschen eines Elements erfolgt durch einen einfachen Tastendruck.

Um die Nutzung des Datenarchivs zu erleichtern steht auch eine nützliche Suchfunktion  zur Verfügung, einfach den Namen (oder einen Teil von ihm) eingeben, nach dem man suchen möchte. Sollte im Archiv eines oder mehrere Elemente vorhanden sein, die die Suchkriterien erfüllen, werden diese nacheinander durch Drücken der Taste „nächster“  präsentiert.

Anzeige der im Archiv präsenten Daten

Nachdem man eine Datei des Archivs ausgewählt hat, kann man sich den Inhalt durch Drücken von  klar und im Detail ansehen. Für die diversen Datentypen wird man folgendes vorfinden:

Messen der Gesamtschwingung:



1. Grafik des Spektrums (auf dem Instrument N100 oder N300 nicht direkt anzeigbar)
2. Cursorposition und –Wert
3. Gesamtschwingung
4. Liste mit den Spitzenwerten
5. Informationen und Parameter der Messung
6. Zur Messung gehörende Anmerkungen

Spezielle Funktionen für die Grafiken des Spektrums:

- Cursor

Auf der Grafik befindet sich ein Cursor, der schrittweise nach links oder nach rechts bewegt werden kann, durch Anklicken oder durch Drücken von  .

Wählt man hingegen , kann man den Cursor direkt anklicken und diesen bei gedrückter linker Maustaste schnell in die gewünschte Position ziehen.

- Zoom

Klickt man auf die Taste , kann man zwischen den diversen Zoommöglichkeiten wählen :

-  (Rechteck vergrößern) : einen Punkt anklicken und den Cursor weiterziehen, so kann man das Rechteck auswählen, das man vergrößern möchte;
-  (Zoom x) : einen Punkt anklicken und den Cursor horizontal verschieben; so kann man den X-Achsen-Abschnitt auswählen, den man vergrößern möchte;
-  (Zoom y) : einen Punkt anklicken und den Cursor vertikal verschieben; so kann man den Y-Achsen-Abschnitt auswählen, den man vergrößern möchte;
-  (Auto-Skala) : klickt man die Grafik an, werden die Achsenendwerte automatisch angepasst, auf Grundlage dessen, was angezeigt wird;
-  (Zoom in) : klickt man auf einen Punkt, wird der Bereich um den Punkt herum vergrößert;
-  (Zoom out) : klickt man auf einen Punkt, wird ein größerer Bereich um den Punkt herum vergrößert;

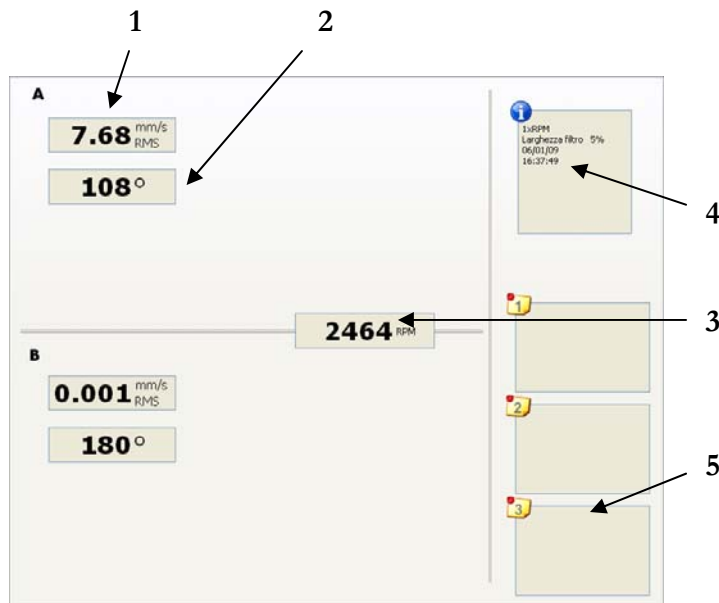
- Verschieben der Grafik ins Fenster

Nachdem man  ausgewählt hat, kann man einen Punkt der Grafik anklicken und ohne die Maustaste freizugeben die Grafik in das Innere des Fensters verschieben. Dies entspricht praktisch einem Wechsel der Anfangs- und Endwerte beider Achsen, ohne jedoch die Skala zu verändern. Bringt man den Cursor wieder aus dem Fenster heraus, kehrt die Grafik in ihre vorherige Position zurück.

Hinweis:

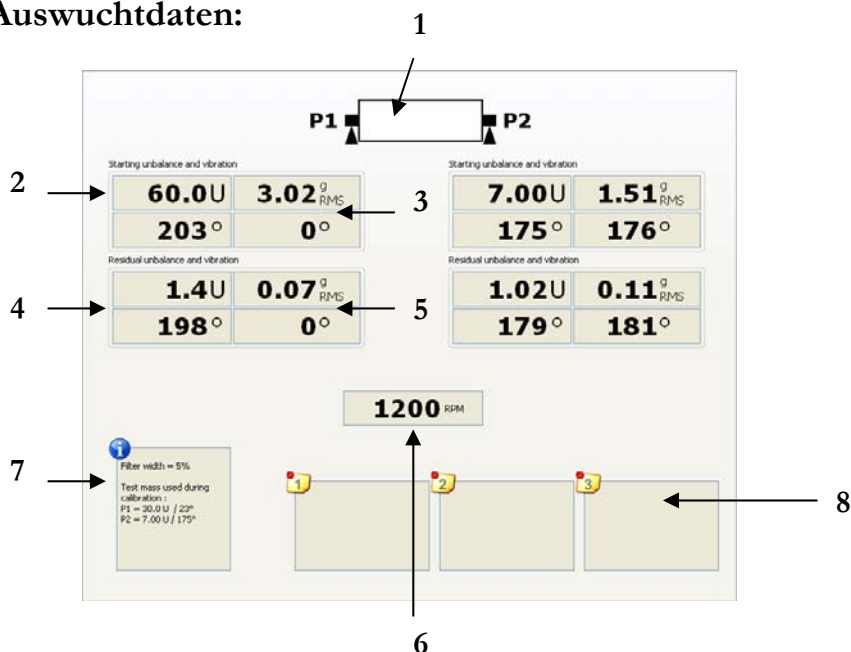
Die Achsenanfangs- und Endwerte können einzeln verändert werden, einfach anklicken und einen neuen Wert von der Tastatur aus eingeben.

Messung der drehzahlsynchronen Schwingungsgröße:



1. Umfang der drehzahlsynchronen Schwingungsgröße
2. Phase der drehzahlsynchronen Schwingungsgröße
3. Frequenz der drehzahlsynchronen Schwingungsgröße
4. Informationen und Parameter der Messung
5. zur Messung hörende Anmerkungen

Auswuchtdaten:



1. Auswuchtart (in einer oder zwei Ebenen)
2. Größe (in allgemeiner Einheit U) und Phase der Ausgangsunwucht
3. Größe und Phase der Ausgangsunwucht
4. Größe (in allgemeiner Einheit U) und Phase der Endunwucht (d.h. nach dem Auswuchten)
5. Größe und Phase der Endschwingung (d.h. nach dem Auswuchten)

6. Rotordrehzahl
7. Informationen und Parameter der Messung
8. zur Messung gehörende Anmerkungen

Die zu jeder Messung gehörenden Anmerkungen können jederzeit durch Drücken von



verändert werden. Diese Möglichkeit stellt eine gute Hilfe nach der Datenanalyse dar: der Bediener kann nicht nur Bemerkungen oder Kommentare zu den Messwerten oder – Typen hinzufügen sondern auch zu den Messbedingungen. Es können weiterhin Erinnerungshilfen für zukünftige Eingriffe eingefügt werden, sowie Anmerkungen, die man für bedeutungsvoll hält.

Bei den Auswuchtungen empfiehlt es sich z.B. anzumerken, welchen physikalischen Einheiten (mg, g, kg, g· mm, g· cm, g· m, ...) die allgemeinen Einheiten U entsprechen.

Erstellen und Ausdrucken von Zertifikaten (*report*)

Mit der CEMB Software N-Pro kann man problemlos kundeneigene Zertifikate erstellen und ausdrucken, sowohl über die Schwingungsanalyse als auch zu den Auswuchtarbeiten.



Nach dem Drücken der Taste reicht es aus, für das zu erstellende Zertifikat ein Modell (*template*) auszuwählen. Dies Modell ist eine einfache HTML *Datei*, die der Bediener unter Zuhilfenahme irgendeines HTML Editors selbst erstellen oder nach eigenen Bedürfnissen anpassen kann. Das CEMB Programm N-Pro sorgt für die Erstellung des *reports*, indem innerhalb der *Template* einige vordefinierte Codes verändert werden, mit den dazugehörigen Werten der angezeigten Messung.

Das Ergebnis wird in einem eigens dafür vorgesehenen Fenster angezeigt und die folgenden Funktionen werden befähigt:



Abspeichern des soeben erstellten *reports* , unter Angabe von Name und Position



Ausdrucken des angezeigten *reports*, unter Auswahl eines der beim PC installierten Drucker

Hinweis:

Ist am PC ein virtueller PDF Drucker installiert (z.B. *PDFCreator*, ...), reicht es aus diesen für ein Zertifikat im *PDF* Format anzuwählen, anstelle eines auf Papier ausgedruckten Zertifikats. Dies kann dann auf der Festplatte in der gewünschten Position und unter einem beliebigen Namen abgespeichert werden, was nicht nur eine bequeme Archivierung gestattet, sondern auch ein späteres Abschicken per *E-Mail*.

Eine Kopie kann außerdem auch zu einem späteren Zeitpunkt auf Papier ausgedruckt werden, einfach das *PDF* Dokument ausdrucken.

Hinweis:

Um dem Bediener die Arbeit zu erleichtern, stellt das CEMB Programm N-Pro bereits einige *templates* zur Verfügung. Diese Modelle können als Grundlage dienen und anschließend nach Wunsch angepasst werden. Besagte Modelle befinden sich im Unterverzeichnis *Report Templates* des *N-Pro* Verzeichnisses, in dem das Programm installiert ist.



Achtung:

Möchte man eine der bereits im Verzeichnis *Report Templates* vorhandenen *templates* anpassen, das abgeänderte Modell unter einem anderen Namen oder in einem anderen Verzeichnis abspeichern. Ein zukünftiges Update der N-Pro Software überschreibt die von CEMB gelieferten *templates* gemeinsam mit dem Programm.

Hinweis:

Die Liste der in den *templates* verwendbaren Codes und ihre Bedeutungen sind im **Anhang D** aufgeführt, genauso wie einige Empfehlungen zur Erstellung kundeneigener Zertifikate.

Erstellung und Druck von Mehrfachmessungen enthaltenden Zertifikaten (*Multi-Report*)

Aber der Version 1.3 ist es mit der CEMB N-Pro Software möglich, auf sehr einfache Art und Weise persönlich gestaltete Zertifikate mit unterschiedlichen Mess- und Auswuchtdaten zu erstellen und auszudrucken. So kann in einem einzigen Dokument eine Reihe Messungen zusammengefasst werden, die nacheinander und auch an verschiedenen Punkten unterschiedlicher Maschinen gemacht wurden.

Dank des mit *Templates* arbeitenden Konzepts kann das Zertifikat persönlich gestaltet werden: die für ein Mehrfachzertifikat (Multi-Report) vordefinierten Codes bestehen aus zwei Teilen.

- Der auszuwechselnde Informationscode (identisch mit dem *Report* einer Einzelmessung)
- Die progressive Nummer der Messung, auf die sich der Code bezieht

Die Schritte zum Erstellen eines Mehrfachzertifikats sind sehr einfach:

1. mit 'CTRL + click' oder 'SHIFT + click' alle Messungen im Archiv auswählen, die im *Multi-Report* zusammengefasst werden sollen, diese müssen alle im gleichen Verzeichnis enthalten sein
2. die Drucktaste  betätigen
3. das gewünschte *Template* auswählen

Anmerkung:

Beschreibung, Auflistung und Bedeutung der in den *Templates* der *Multi-Reports* verwendbaren Codes sind im **Anhang D** aufgeführt.

Technische Daten des N300 Gerät

- **Gerät**
 - Abmessungen (W x L x H): 84 x 180 x 52.5 mm
 - Gewicht: 385g komplett mit Akku
- **Arbeitsumgebung**
 - Temperatur: -10° bis +50° C
 - Luftfeuchtigkeit: 0 bis 95% ohne Kondenswasser
- **Stromversorgung**
 - Wiederaufladbarer Lithiumakku zu 1.8 Ah
 - Ladedauer: weniger als 5 Stunden (bei komplett entladenen Akku)
 - Akkuladegerät:
 - Eingang 100-240 VAC, 50/60 Hz, 0.2A
 - Ausgang 8.4VDC, 0.71A, 6.0W MAX
 - Autonomie: mehr als 8 Stunden bei einem normalen Gebrauch des Geräts
- **Display**
 - STN monochromatisch 128x64 Pixel
 - LED rückbeleuchtet
- **Tastatur**
 - 9 Tasten zusätzlich zur Ein-/Ausschalttaste
- **Eingangskanäle**
 - 2 Messkanäle (Stromversorgung DC max. 5 mA, mehr oder weniger automatisch befähigt, je nach Sensortyp)
 - 1 Kanal für die Photozelle (Drehzahl und Winkelreferenz)
- **Anschließbare Sensoren**
 - Beschleunigungsmesser CEMB TA-18S
 - Geschwindigkeitsmesser CEMB T1/40
 - Generischer Beschleunigungs- oder Geschwindigkeitsmesser, mit Max.Signal 4 V-PP
 - Photozelle 60-18.000 RPM
 - Photozelle für hohe Drehzahlen bis zu 60.000 RPM.
- **Messspezifikationen**
 - A/D Konverter: Auflösung 16 bit
 - Anzahl der Mittelwerte: von 1 bis 16
 - Breite des Synchronfilters: von 1% bis 100%
 - Frequenzbereich: bis zu 1kHz (60kRPM) max.
 - Datenspeicherkapazität: max. 10 Schwingungsmessungen und 10 Auswuchtungen
 - Fehlergrenzen des Instruments: 5%

Beurteilungskriterien

TABELLE A
MASCHINENKATEGORIEN FÜR DIE
BEURTEILUNGSKRITERIEN

Gruppe nach ISO 10816 VDI 2056	MASCHINEN
I – K	Maschinenteile, die unter Betriebsbedingungen mit der Gesamtheit der Maschine aus einem Stück sind. Schleifmaschinen. Bohrmaschinen. Elektromotoren (bis zu 15 kW) die gut ausgewuchtet sein müssen wie z.B. Zahnarztbohrer, Aerosol, elektromedizinische Apparate und hochwertige Haushaltsgeräte. Turbinen und Kompressoren von Motoren mit Einspritzung. Schnelle Kompressoren.
II – M	Mittelgroße Maschinen, wie Elektromotoren von 15 bis 100 kW, ohne besonderen Untergrund. Drehmaschinen. Fräsmaschinen. Maschinen und Antriebe bis zu 300kW mit steifer Bauweise, ohne Teile mit oszillierenden Bewegungen, auf eigenem Untergrund. serienmäßige Elektromotoren mit Achsenhöhen von weniger als 130 mm.
III – G	Durchschnittliche und gewöhnlichste Kategorie für eine erste Annäherung. Zu dieser Kategorie gehören die Maschinen, die nicht einer anderen Kategorie zugeordnet werden. Große Maschinen mit steifem und schwerem Untergrund, ohne Massen mit oszillierender Bewegung. Gas- und Dampfturbinen, Turbogebläse, große Drehstromgeneratoren. normale Motoren im Allgemeinen und insbesondere Motoren mit einer Achsenhöhe von 130 bis 230 mm. Steife Ventilatoren (Klasse A). Teile von Werkzeugmaschinen.
IV – T	Große Maschinen mit einem Untergrund geringer Steife, ohne Massen mit oszillierender Bewegung. Turbinen, Drehstromgeneratoren, große Motoren, auf leichten Untergründen und auf Schiffen. Elektromotoren mit einer Achsenhöhe von 230 bis 330 mm. Hydraulikmaschinen, Kreiselpumpen. Ventilatoren auf federnder Struktur (Klasse B). Untersetzungsgetriebe für Turbinen. Arbeitsmaschinen mit hohen Ansprüchen: zum Drucken, zum Spinnen, zur Papiererzeugung.
V – D	Maschinen mit oszillierenden Massen, die nicht auswuchtbar sind, auf steifem Untergrund in Richtung der größten Vibrationen. Ventilatoren auf Schwingungsdämpfern (Klasse C). Motoren mit Kurbelwellen und sechs oder mehr Zylindern auf eigenem Untergrund. Kolbenmotoren für Fahrzeuge, Lastkraftwagen, Lokomotiven, die bei den Versuchen nicht auf einen Isolator montiert wurden. Arbeitsmaschinen mit oszillierenden und nicht auswuchtbaren Massen wie Webrahmen, Milchzentrifugen, Waschmaschinen, nur wenn sie ohne Stoßdämpfer auf einem steifen Untergrund festgemacht sind.
VI – S	Maschinen mit oszillierenden und nicht auswuchtbaren Massen, auf einem federnden Untergrund installiert. Maschinen mit frei drehenden Massen, mit variierenden und nicht ausgleichbaren Unwuchten, mit federnder Montage, die ohne steife Verbindungen mit anderen Teilen funktionieren wie: Waschmaschinen, Zentrifugenkörbe, Rüttelsiebe, Maschinen für Werkstoffermüdungstests, Rüttelmaschinen für technologische Prozesse, Dreschtrommeln für Mühlen, Vibratoren. landwirtschaftliche Maschinen, Müllereimaschinen, Dreschmaschinen. Motoren mit 4 oder mehr Zylindern, in Kraftfahrzeuge und Lokomotiven eingebaut. Dieselmotoren mit 4 oder mehr Zylindern. Dieselmotoren für die Seefahrt. Große Zweitaktmotoren

BEURTEILUNGSKRITERIEN AUF DER GRUNDLAGE DER AN FESTEN TEILEN GEMESSENEN VIBRATIONSGESCHWINDIGKEIT

Bei fast allen Maschinen ist die Messung der Vibrationsgesamtschwindigkeit an feststehenden Teilen der Struktur als quadratischer Mittelwert (RMS) dazu in der Lage, die Maschine unter vibrationstechnischem Gesichtspunkt zu charakterisieren.

Der Gesamtwert wird im Frequenzbereich $10 \div 1000$ Hz berechnet oder bei langsamen Maschinen (<600 RPM) im Bereich $2 \div 1000$ Hz. Man bezieht sich auf die Maximalgeschwindigkeit am Lager in den drei Messrichtungen.

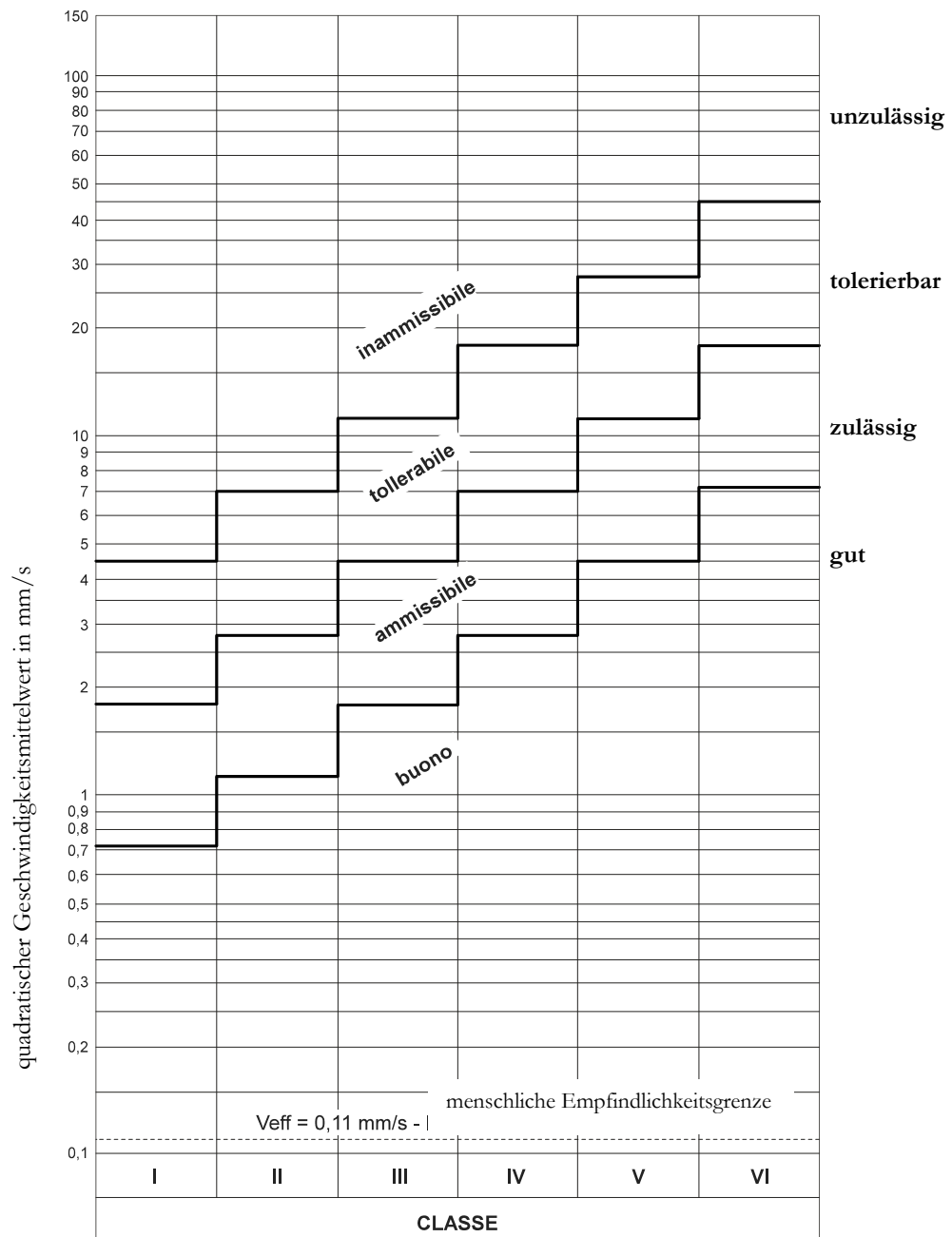
Mit Hilfe von **Tabelle A** kann man die Zugehörigkeitsklasse der untersuchten Maschinen ausmachen.

Die Grafik von Seite **B - 3** liefert eine direkte Beurteilung des Vibrationszustands, wenn z.B. die Vibration auf dem Lager einer Schleifmaschine (Klasse 1) als 5 mm/s (RMS) gemessen wurde ist die Beurteilung wie folgt: die Vibration ist unzulässig, Ursache herausfinden und beseitigen.

Das auf der Geschwindigkeit basierende Kriterium gilt für Frequenzen von 10 Hz bis 400 Hz. Unterhalb von 10 Hz könnten falsche Beurteilungen auftreten, da die Vibrationen trotz zulässiger Geschwindigkeit prohibitive Bewegungsausschläge hätten.

Bei Frequenzen unterhalb 10 Hz ist das Kriterium auf Grundlage der Bewegungen (Verschiebungen/Versetzungen) in Betracht zu ziehen. Bei Frequenzen oberhalb 400 Hz und manchmal auch im Bereich von 300 bis 400 Hz sind die Beurteilungen auf Grundlage der Geschwindigkeit mit Vorsicht zu genießen, da bei diesen Frequenzen manche Phänomene andere Erscheinungsformen annehmen und weitere Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind: die in die Umgebung abgestrahlte Energie, Vibrationen des Gebäudes oder der Umgebung (Schiff, Flugzeug, Fahrzeug) und physiologische Störungen des Menschen. Bei hohen Frequenzen können Beschleunigungsmessungen nützlich sein.

Die Einstufung von **Tabelle A** und die Akzeptierbarkeitswerte von Abbildung erfüllen teilweise die Richtlinie ISO 10816. Die ISO Richtlinie berücksichtigt nicht die Klassen V und VI und verweist außerdem auf spezifische Normen, die für jeden Maschinentyp bereits veröffentlicht sind oder veröffentlicht werden (Elektromotoren, Hydraulikmaschinen, Gasturbinen etc.).



Grafik zur Beurteilung mechanischer Vibrationen auf Grundlage des quadratischen Geschwindigkeitsmittelwerts.

Leitfaden zur Interpretation eines Spektrums

TYPISCHE FÄLLE VON VIBRATIONEN BEI MASCHINEN

1. KURZER LEITFADEN ZUR ERSTEN ORIENTIERUNG

Bei der Kontrolle gemessene Größen	f = Vibrationsfrequenz [Zyklen/min] oder [Hz]
	s = Bewegungsausschlag [μm]
	v = Vibrationsgeschwindigkeit [mm/s]
	a = Vibrationsbeschleunigung [g]
	n = Rotationsgeschwindigkeit (Drehzahl) eines Teiles [U/min]

Erfassen der Frequenz	Ursachen	Anmerkungen
1) $f = n$	Unwucht rotierender Körper.	Intensität proportional zur Unwucht, überwiegend in radialer Richtung, wächst mit der Geschwindigkeit an.
	Durchbiegung des Rotors	Manchmal empfindliche axiale Vibrationen.
	Resonanz rotierender Körper.	Kritische Geschwindigkeit nahe bei n , Vibrationsintensität sehr hoch.
	Exzentrisch montierte Wälzlager.	Es empfiehlt sich das Auswuchten des auf seine Lager montierten Rotors.
	Ausrichtungsfehler.	Auch erhebliche axiale Vibration präsent, mehr als 50% der transversalen Vibration; auch häufig $f=2n, 3n$.
	Exzentrizität von Riemenscheiben, Zahnrädern etc.	Wenn Rotationsachse nicht mit geometrischer Achsen zusammenfällt.
	Unregelmäßigkeiten des Magnetfeldes in elektrischen Maschinen.	Die Vibration verschwindet beim Unterbrechen des Stroms.
	Riemenlänge ist ein exaktes Vielfaches der Riemenscheibenausdehnung.	Mit dem Stroboskop können Riemen und Riemenscheibe gleichzeitig blockiert werden.
	Zahnrad mit defektem Zahn.	Überlagert sich häufig mit durch Unwucht verursachter Vibration.
2) $f \cong n$ mit Schwebungen	Wechselnde Kräfte	Es ist die zweite und dritte Harmonische präsent.
	Überlagerung von Defekten durch mechanische Unwucht und Unregelmäßigkeiten im Magnetfeld.	Bei Asynchronmotoren; Schwebung wird durch Gleiten hervorgerufen.
3) $f \cong (0,40 \div 0,45) n$	Gleitlager mit defekter Schmierung.	Bei hohem n , oberhalb der 1. kritischen. Mit Stroboskop kontrollieren. Präzessionsbewegung des Zapfens (oil whirl).
	Wälzlagergehäuse defekt.	Eventuelle Harmonische.
4) $f = \frac{1}{2} n$	Mechanische Labilität des Rotors. Lockere Gleitlagerschalen. Mechanisches Versagen.	Ist eine Sub-Harmonische, die oft auftritt aber selten von Wichtigkeit ist. Häufig präsent auch $f = 2n, 3n, 4n$ und halbe Harmonische.
5) $f = 2n$	Ausrichtungsfehler Mechanische Lockerungen.	Es sind auch starke axiale Vibration präsent. Gelockerte Schrauben, zu großes Spiel beweglicher Teile und der Lager, Risse und Brüche in der Struktur: Präsenz von Sub-Harmonischer und oberer Harmonischer.

6) f ist ein genaues Vielfaches von n	Wälzlager fehlerhaft ausgerichtet oder im Sitz forciert. Defektes Zahnrad (Getriebe) Ausrichtungsfehler mit zu großen axialen Spielen. Laufräder mit Schaufeln (Pumpen, Ventilatoren).	Frequenz = $n \times$ Anzahl Kugeln oder Rollen. Mit Stroboskop kontrollieren. $f = z \cdot n$ (z = Anzahl defekter Zähne). Bei allgemeinem Verschleiß, schlecht gefertigte Zähne wenn z = Gesamtzahl der Zähne. Werden häufig von mechanischen Lockerungen verursacht. $f = n \times$ Anzahl der Schaufeln (oder Kanäle)
7) f sehr viel höher als n und ist nicht exaktes Vielfaches	Beschädigte Wälzlager. Gleitlager mit zu hoher Reibung. Zu stark gespannte Riemen. Ungleichmäßige Mehrfachriemen. Schwach belastete Getriebe. Laufräder mit Schaufeln zum Antreiben von Flüssigkeiten (Hohlsog, Rückstau etc.).	Frequenz, Intensität und Phase instabil. Axiale Vibration. Schmierung absolut oder zonenweise fehlerhaft. Quietschen zu hören. Charakteristisches Quietschen hörbar. Gleiten zwischen den Riemen. Stöße zwischen den Zähnen durch fehlende Belastung; instabile Vibration. Frequenz und Intensität instabil. $f = n \times$ Anzahl Schaufeln $\times$ Anzahl Kanäle Häufig axiale Vibration.
8) f = natürliche Frequenz anderer Teile	Gleitlager mit zu großem Spiel. Riemen, die durch Vibration anderer Teile erregt werden.	Anhebung durch Stoß (oil whip) der Vibrationen der anderen Teile. Mit Stroboskop kontrollieren. Beispiele: exzentrische oder unwuchtige Riemenscheiben, Ausrichtungsfehler, Unwuchten von Rotoren.
9) f instabil mit Schwebungen	Ungleichmäßige Mehrfachriemen. Riemen mit mehreren Verbindungsstellen.	Intensität instabil.
10) $f = n_c$ $n \neq n_c$	(n_c = kritische Wellendrehzahl) Wälzlager. (n_r = Netzfrequenz) Elektromotoren, Generatoren.	Für Rotoren oberhalb der kritischen Geschwindigkeit. Auch Harmonische präsent.
12) $f = f_c < n$ oder $f = 2f_c$	Riemen mit einem Bereich, der Elastizitätsdefekte aufweist.	f_c ist die Frequenz des Riemens. $f_c = \pi D n / l$ (D = Riemenscheibendurchmesser; l = Riemenlänge).

Empfindliche axiale Vibrationen, über 10% der transversalen Vibration, weisen auf typische Ursachen hin:

- Ausrichtungsfehler (mehr als 40%);
- Durchbiegung der Welle, insbesondere bei Elektromotoren;
- defekte Drucklager;
- elliptische Exzentrizität bei Elektromotorrotoren;
- Durch Rohrleitungen hervorgerufene Kräfte;
- schiefe Untergründe;
- Reibung bei Wellendichtungen etc.;
- axiale Reibung des Rotors;
- Radial-Lager defekt;
- Kupplungen defekt;
- Riemen defekt.

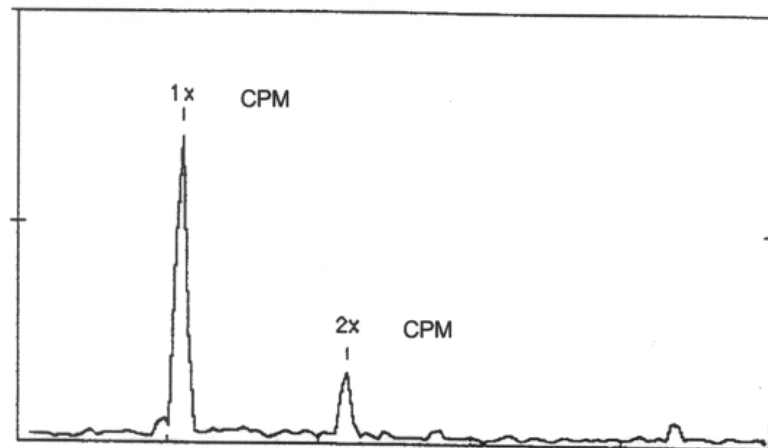
2. TYPISCHE VIBRATIONSSPEKTREN DER HÄUFIGSTEN DEFEKTE

Anmerkung: Die folgenden Spektren sind rein informativ. Die mit dem Instrument N500 erzielten Spektren haben eine andere grafische Gestalt.

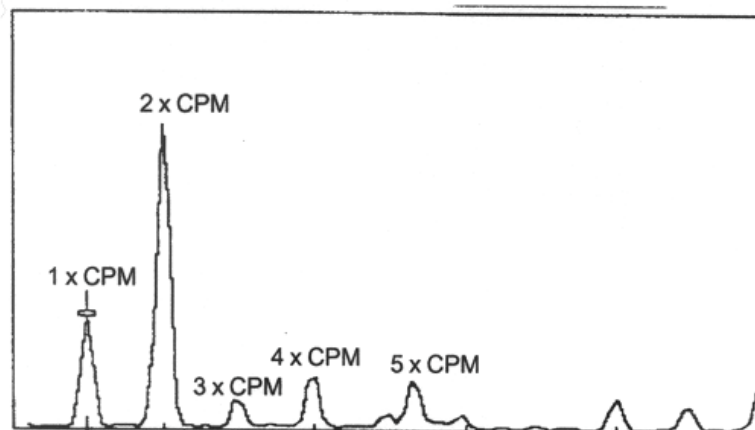
Anschließend werden die Spektren typischer Vibrationen aufgeführt, die in der Praxis von den üblichsten Defekten hervorgerufen werden.

CPM = Rotationsgeschwindigkeit (Drehzahl) der Welle in Umdrehungen pro Minute.

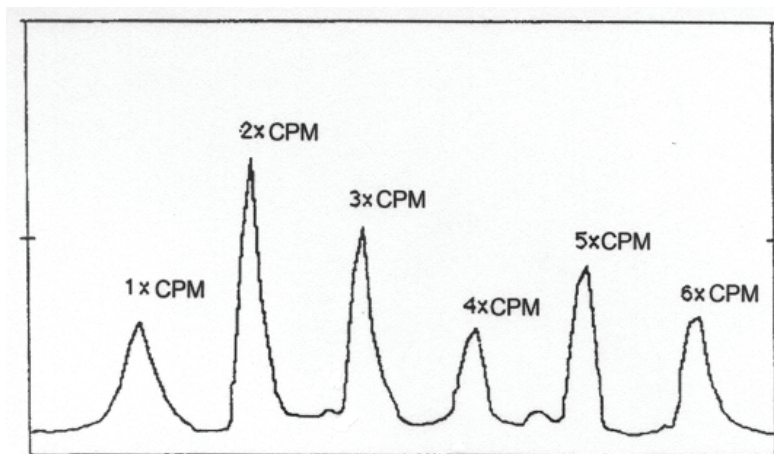
1. UNWUCHT



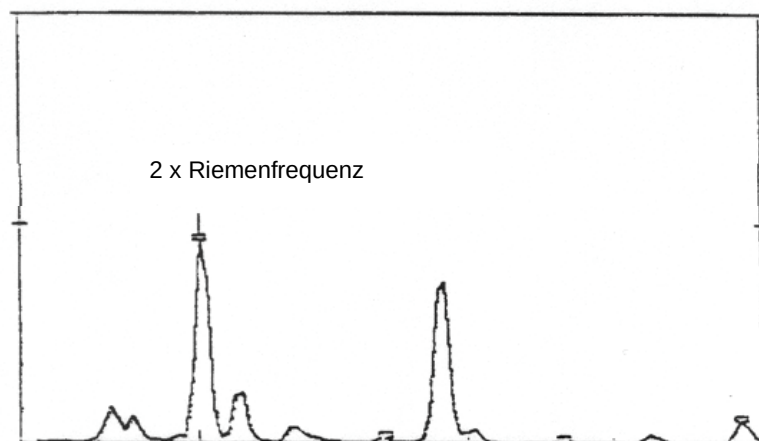
2. AUSRICHTUNGSFEHLER



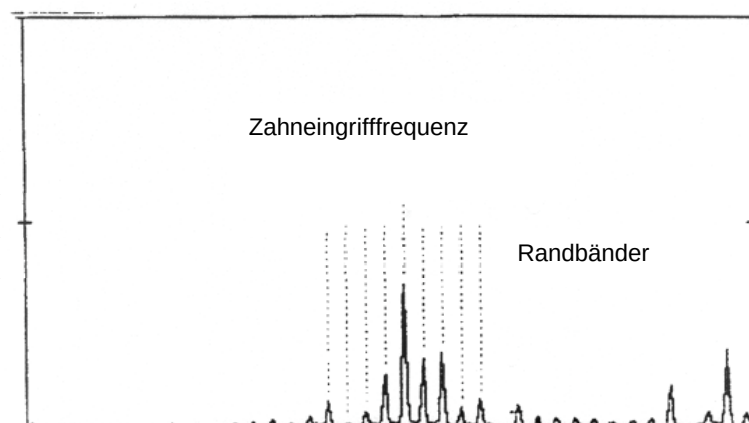
3. MECHANISCHE LOCKERUNG / SPIEL



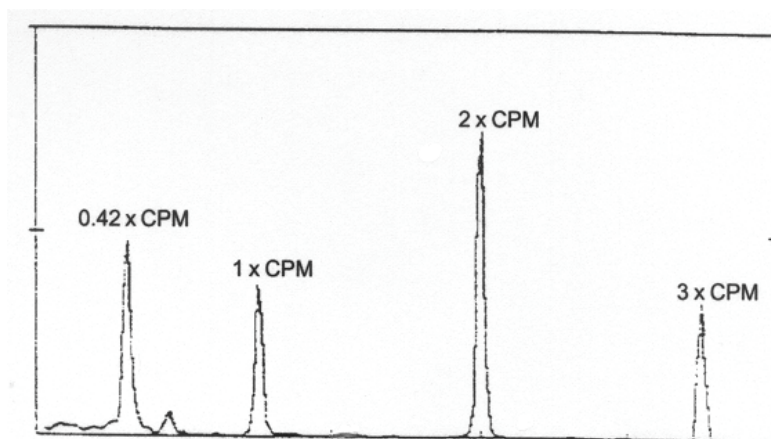
4. RIEMEN



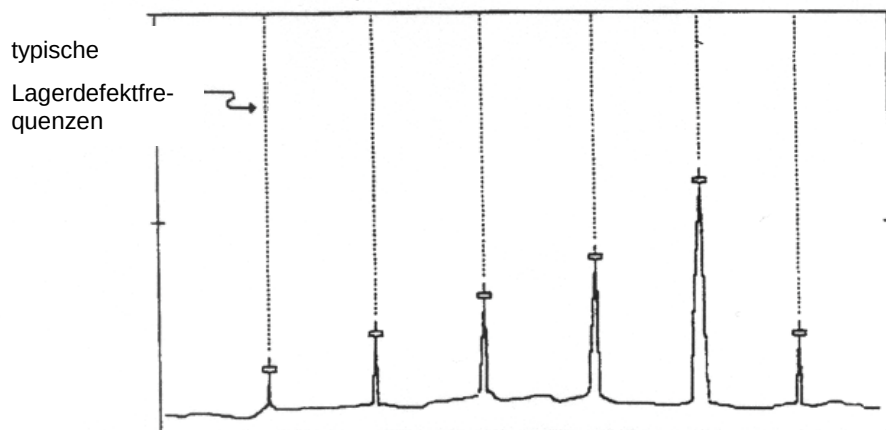
5. ZAHNRÄDER (GETRIEBE)



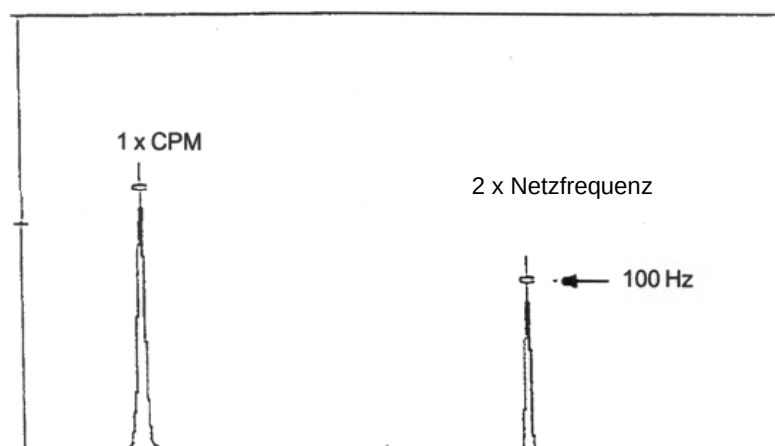
6. GLEITLAGER



7. WÄLZLAGER



8. ELEKTROMOTOREN



3. FORMELN ZUM BERECHNEN TYPISCHER LAGERDEFEKTFREQUENZEN

SIMBOLE:

FTF = Käfigfrequenz

BPFO = Defekt auf Außenspur

BPFI = Defekt auf Innenspur

BSP = Defekt auf Rolle/Kugel

Die Frequenzen der Lager können berechnet werden mit Kenntnis von:

S = Anzahl der Wellendrehungen

PD = Teilkreisdurchmesser

BD = Durchmesser Kugel/Rolle

N = Anzahl der Kugeln/Rollen

Θ = Kontaktwinkel

Gängigster Fall:

a – feststehender Außenring (drehender Innenring)

$$FTF = \frac{S}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right]$$

$$BPFO = \frac{S}{2} \cdot N \cdot \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right]$$

$$BPFI = \frac{S}{2} \cdot N \cdot \left[1 + \left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right]$$

$$BSP = \frac{S}{2} \cdot \left(\frac{PD}{BD} \right) \cdot \left[1 - \left(\left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right)^2 \right]$$

b – drehender Außenring (feststehender Innenring)

$$FTF = \frac{S}{2} \cdot \left[1 + \left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right]$$

$$BPFO = \frac{S}{2} \cdot N \cdot \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right]$$

$$BPFI = \frac{S}{2} \cdot N \cdot \left[1 + \left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right]$$

$$BSP = \frac{S}{2} \cdot \left(\frac{PD}{BD} \right) \cdot \left[1 - \left(\left(\frac{BD}{PD} \right) \cdot \cos\Theta \right)^2 \right]$$

Annähernde Berechnungsformeln (± 20%)

FTF = 0.4 x S **(a)** oder 0.6 x S **(b)**

BPFO = 0.4 x N x S **(a)** oder **(b)**

BPFI = 0.6 x N x S **(a)** oder **(b)**

BSP = 0.23 x N x S (N < 10) **(a)** oder **(b)**

= 0.18 x N x S (N ≥ 10) **(a)** oder **(b)**

Informationen zur Erstellung kundenspezifischer *templates* (Modelle) für die vom CEMB Programm N-Pro erstellten Zertifikate.

Numerische Codes

In dem Moment, in dem das Zertifikat erstellt wird, tauscht die CEMB Software N-Pro im Modell automatisch einige vordefinierte Codes aus (der Form #x#), mit den dazugehörigen Informationen zur gerade angezeigten Messung.

Damit das Austauschen korrekt erfolgt, nur die folgenden Codes verwenden:

#1#	Aktuelles Datum
#2#	Aktuelle Uhrzeit
#3#	Anmerkung Nummer 1 zur Messung
#4#	Bild der Grafik beim Spektrum von Kanal A
#5#	Bild der Grafik beim Spektrum von Kanal B
#6#	Name der Messung
#7#	Pfad (<i>path</i>) des Verzeichnisses, das die Messung enthält
#8#	Seriennummer des Gerätes N100 oder N300
#11#	Messart (Pk, PP, RMS)
#12#	An Kanal A angeschlossener Sensortyp
#13#	An Kanal B angeschlossener Sensortyp
#14#	Messung (<i>overall</i> , 1xRPM, 2xRPM, ...)
#15#	Anzahl der Mittelwerte (nur für <i>overall</i> Messung)
#16#	Breite des Synchronfilters, in % (nur für Messung der drehzahlsynchronen Schwingung oder Auswuchtungen)
#17#	Gemessene Maximalfrequenz (nur für <i>overall</i> Messung)
#18#	Anzahl der Linien beim Spektrum
#19#	Anmerkung Nummer 2 zur Messung
#20#	Anmerkung Nummer 3 zur Messung
#48#	Modell des Geräts, mit dem die Messung vorgenommen wurde (N100, N300)
#49#	Firmware Version des Geräts N100 oder N300

#50#	Maß- bzw. Messeinheit der Frequenzen und Drehzahlen
#51#	Datum der letzten Messung
#61#	Uhrzeit, bei der die Messung vorgenommen wurde
#301#	Gesamtschwingung (<i>overall</i>) von Kanal A
#302#	Gesamtschwingung (<i>overall</i>) von Kanal B
#311#	Größe der drehzahlsynchronen Schwingung von Kanal A
#312#	Größe der drehzahlsynchronen Schwingung von Kanal B
#321#	Phase der drehzahlsynchronen Schwingung von Kanal A
#322#	Phase der drehzahlsynchronen Schwingung von Kanal B
#331#	Frequenz der drehzahlsynchronen Schwingung von Kanal A
#332#	Frequenz der drehzahlsynchronen Schwingung von Kanal B
#351#	Maß- bzw. Messeinheit der Schwingung (g, mm/s, μm , ...)
#401#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.1 der Schwingung von Kanal A
#402#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.2 der Schwingung von Kanal A
#...#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.... der Schwingung von Kanal A
#405#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.5 der Schwingung von Kanal A
#426#	Spitzenwert Nr.1 der Schwingung von Kanal A
#427#	Spitzenwert Nr.2 der Schwingung von Kanal A
#...#	Spitzenwert Nr.... der Schwingung von Kanal A
#430#	Spitzenwert Nr.5 der Schwingung von Kanal A
#451#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.1 der Schwingung von Kanal B
#452#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.2 der Schwingung von Kanal B
#...#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.... der Schwingung von Kanal B
#455#	Frequenz des Spitzenwertes Nr.5 der Schwingung von Kanal B
#476#	Spitzenwert Nr.1 der Schwingung von Kanal B
#477#	Spitzenwert Nr.2 der Schwingung von Kanal B

#...#	Spitzenwert Nr.... der Schwingung von Kanal B
#480#	Spitzenwert Nr.5 der Schwingung von Kanal B
#601#	Größe der Ausgangsunwucht in Ebene P1 (in Einheit U)
#602#	Phase der Ausgangsunwucht in Ebene P1 (in Grad °)
#603#	Größe der Ausgangsschwingung in Ebene P1
#604#	Phase der Ausgangsschwingung in Ebene P1 (in Grad °)
#605#	Größe der aktuellen (End- Unwucht in Ebene P1 (in Einheit U)
#606#	Phase der aktuellen (End- Unwucht in Ebene P1 (in Grad °)
#607#	Größe der Ausgangsunwucht in Ebene P2 (in Einheit U)
#608#	Phase der Ausgangsunwucht in Ebene P2 (in Grad °)
#609#	Größe der Ausgangsschwingung in Ebene P2
#610#	Phase der Ausgangsschwingung in Ebene P2 (in Grad °)
#611#	Größe der aktuellen (End- Unwucht in Ebene P2 (in Einheit U)
#612#	Phase der aktuellen (End- Unwucht in Ebene P2 (in Grad °)

Im Fall eines *Multi-Reports* (ein Zertifikat, das mit Hilfe der Daten von N verschiedenen Messungen erstellt wird) sind Codes der Form #x-y# zu verwenden, wobei:

- x = der numerische Code ist, der in der obenstehenden Tabelle aufgelistet ist
- y = die progressive Nummer der Messung ist, aus welcher der *Multi-Report* zusammengesetzt wurde (1, 2, ... N)

Zum Beispiel:

- #6-1# = Name der Messung n° 1 des *Multi-Report*
- #11-2# = Typ der Messung n° 2 des *Multi-Report*
- ...

Empfehlungen für die Anpassung der Zertifikate an die eigenen Bedürfnisse

Der Gebrauch eines HTML Modells (*template*) zur Erstellung der Zertifikate bietet dem Kunden die freie Möglichkeit die von CEMB mitgelieferten Zertifikate anzupassen oder neue zu erstellen. Kunden, die besondere Bedürfnisse haben, können selbst Logos oder Bilder einfügen, sowie Abmessungen und Farben der Aufschriften verändern.

Da es sich bei diesen *templates* um HTML Dokumente handelt, empfiehlt es sich diese mit geeigneten Programmen, mit einem **HTML Editor**, zu verändern bzw. zu erstellen. Ihr Gebrauch ist dem eines normalen Textverarbeitungsprogramms ähnlich (*Microsoft Word*, *Openoffice Writer*, ...), mit dem Unterschied, dass die erstellten Dokumente **direkt** im HTML Format abgespeichert werden: auf diese Weise wird die grafische Gestalt des

Dokuments beim Abspeichern nicht verändert. Nutzt man hingegen Textverarbeitungsprogramme und speichert die Datei dann im HTML Format ab, besteht die Gefahr, dass Ausrichtung, Leerstellen und Dimensionen nach dem Konvertieren und Abspeichern verändert werden. In einem solchen Fall sieht das HTML Modell anders aus als man es eigentlich erstellen wollte. Diese Situationen kennen Nutzer von *Microsoft Word 2000* oder höheren Versionen.

Es stehen zahlreiche HTML Editoren zur Verfügung, wir weisen hier nur auf einige hin:

- KompoZer mehrsprachig, und kostenlos von der Internetseite <http://www.kompozer.net/> herunterladbar
- W3C Amaya mehrsprachig, und kostenlos von der Internetseite <http://www.w3.org/Amaya/> herunterladbar
- Mozilla Composer mehrsprachig, ein Teil von Mozilla Seamonkey, und kostenlos von der Internetseite <http://www.seamonkey-project.org/> herunterladbar
- Adobe Dreamweaver mehrsprachig, nicht kostenlos

Zur Unterstützung des Bedieners ist das Programm KompoZer in der gleichen CD enthalten wie die CEMB Software N-Pro.

Erstellen von Zertifikaten im *PDF* Format

Zum Erstellen von Zertifikaten im PDF Format reicht es aus, dass auf dem eigenen PC ein virtueller PDF Drucker installiert ist, diesen auswählen, nachdem die Taste  in der CEMB Software N-Pro angeklickt wurde.

Sollte man über keinen derartigen Drucker verfügen, kann man den PDFCreator installieren, der kostenlos von der Internetseite <http://sourceforge.net/projects/pdfcreator/> heruntergeladen werden kann.

Einmal installiert, erscheint eine neuer Drucker mit dem Namen PDFCreator im, Drucker und Fax' Fenster, neben den realen an den PC angeschlossenen Druckern.

Liste der im Gerät verwendeten Symbole

Von der Hauptbildschirmseite aus zugängliche Funktionen

	Schwingungsmessung (Schwingungsmesser)
	Auswuchten
	Einstellung der Betriebsparameter beim Gerät

Von der Leiste mit den Zusatzfunktionen zugängliche Parameter

	Zugriff auf die Seite mit dem Messarchiv
	Anzeige der Liste mit den Schwingungsspitzenwerten
	Zugriff auf die Kalibrierprozedur (Selbstlernvorgang) für die aktuelle Auswuchtung
	Zugriff auf die Kalibrierprozedur (Selbstlernvorgang) für eine neue Auswuchtung
	Größe der Testmasse, die bei der Auswuchtung im aktuellen Selbstlernschritt verwendet wurde
	Winkellage der Testmasse, die bei der Auswuchtung im aktuellen Selbstlernschritt verwendet wurde
	Abspeichern der aktuellen Messung im Archiv
	Laden der ausgewählten Messung aus dem Archiv und ihre Anzeige
	Beseitigung der ausgewählten Messung aus dem Archiv
	Entleeren des Archivs (Beseitigung aller Messungen)

Betriebsparameter

	Beschleunigungsmesser Nr. 1, oder Beschleunigungsmesser vom Typ 1 (sollten zwei Signalaufnehmer unterschiedlichen Typs präsent sein)
	Beschleunigungsmesser Nr. 2, oder Beschleunigungsmesser vom Typ 2 (sollten zwei Signalaufnehmer unterschiedlichen Typs präsent sein)
	Geschwindigkeitsmesser Nr. 1, oder Geschwindigkeitsmesser vom Typ 1 (sollten zwei Signalaufnehmer unterschiedlichen Typs präsent sein)
	Geschwindigkeitsmesser Nr. 2, oder Geschwindigkeitsmesser vom Typ 2 (sollten zwei Signalaufnehmer unterschiedlichen Typs präsent sein)
	Aktuelles Datum
	Aktuelle Uhrzeit
	Für die physikalischen Größen zu verwendende Maß-/Messeinheit
	Intensität der Rückbeleuchtung beim Display
	Zeit, nach der sich die Rückbeleuchtung des Displays automatisch ausschaltet, wird ab Drücken der letzten Taste berechnet
	Zeit, nach der sich das Gerät automatisch ausschaltet, wird ab Drücken der letzten Taste berechnet

Informationen zur Messung

	Messung läuft/ausgeführt auf Kanal A
	Messung läuft/ausgeführt auf Kanal B
	Sensor an angezeigten Kanal angeschlossen: das Instrument befähigt den Kanal zur Messung
	Sensor nicht an angezeigten Kanal angeschlossen: das Instrument deaktiviert den Kanal (führt die Messung nicht aus)
Overall	Gesamtschwingungsgröße
N	Anzahl der Mittelwerte, die zur Berechnung der Gesamtschwingung berechnet werden
1 × RPM	Größe der Schwingung, die zur Drehzahl synchron ist
3 × RPM	Größe der Schwingung, die zur dritten Harmonischen der Drehzahl synchron ist
	Breite des Synchronfilters
g	Schwingung ausgedrückt in g ($1\text{ g} = 9.81\text{ m/s}^2$)

	Schwingung ausgedrückt in mm/s
μm	Schwingung ausgedrückt in μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)
in/s	Schwingung ausgedrückt in in/s ($1 \text{ in/s} = 25.4 \text{ mm/s}$)
mil	Schwingung ausgedrückt in mils ($1 \text{ mil} = 25.4 \mu\text{m}$)
RMS	Messung der effektiven Schwingungsgröße
PK	Messung des Spitzenwertes bei der Schwingung
PkPk	Messung des Spitze – Spitze Wertes bei der Schwingung
RPM	Frequenzen und Drehzahl ausgedrückt in Umdrehungen pro Minute (RPM)
Hz	Frequenzen und Drehzahl ausgedrückt in Drehungen pro Sekunde (Hz)
OFF	Kanal deaktiviert (Messung nicht ausgeführt)
-HI-	Schwingung ist oberhalb des vom Gerät messbaren Maximalwertes
	Amplitude und Frequenz der höchsten Schwingungskomponente
	Signal für keine Drehzahl, oder Drehzahl unterhalb zulässiger Mindestschwelle
	Drehzahl oberhalb maximal zulässiger Drehzahl
	Drehzahl instabil
	Auswuchtung nur auf einer Ebene ausgeführt (statisch)
	Auswuchtung auf zwei Ebenen ausgeführt (dynamisch) unter Zuhilfenahme zweier Sensoren
	Auswuchtung auf zwei Ebenen ausgeführt (dynamisch) unter Zuhilfenahme nur eines Sensors, der jeweils in P1 oder P2 positioniert wird
	Korrektur (Ausgleich) durch Materialzugabe
	Liste der Schritte der Selbstlernprozedur zum Auswuchten
	Indikator des aktuellen Kalibrierschritts
	Noch auszuführender Kalibrierschritt
	Bereits ausgeführter Kalibrierschritt
	Bei Selbstlernvorgang verwendete Testmasse

Spezifische Symbole für die aus dem Archiv geladenen Daten

	Archiv der Schwingungsmessungen
	Archiv der Auswuchtungen
	Anzeige der unter Archivposition Nr. 3 abgespeicherten Messung
	Gesamtschwingungsgröße
	Amplitude (Umfang) der höchsten Schwingungskomponente
	Frequenz der höchsten Schwingungskomponente
	Rotorunwucht
	Ausgangsrunwucht beim Rotor (erster Kalibrierlauf) und Restrunwucht (Auswuchtende)

Mitteilungen an Bediener

	Zum Starten der Messung OK drücken
	Zum Bestätigen der Datenüberschreibung OK drücken, zum Abbrechen irgendeine andere Taste
	Zum Bestätigen der vorher ausgewählten Operation OK drücken, zum Abbrechen irgendeine andere Taste
	Messung läuft: Ende abwarten
	Messprozess aktiv: zum Anhalten OK drücken, wenn man mit dem Ergebnis zufrieden ist
	Verbindung mit PC aktiv: die CEMB Software N-Pro für den Datentransfer starten

Akkustatus

	Akku vollständig aufgeladen
	Akku teilweise geladen
	Akku fast entladen
	Akku ohne Ladung: innerhalb von 5 Minuten fürs Aufladen sorgen

AUSWUCHTUNGSGENAUIGKEIT STARRER ROTOREN

Das Ziel der Auswuchtung ist es, die Massenverteilung eines Rotors so zu verbessern, daß dieser auf seiner Lagerebene dreht, ohne Fliehkräfte über eine bestimmte zulässige Grenze hinaus zu verursachen.

Dieses Ziel kann und muß nur bis zu einem bestimmten Grad erreicht werden: auch nach der Auswuchtung bleibt eine unvermeidliche Restunwucht. Wie bei der Verarbeitung von Teilen durch Werkzeuge, bei der es nicht möglich ist, die Größen „exakt“ nach den Zeichnungen zu fertigen, weshalb man „Bearbeitungstoleranzen“ festlegt, so ist es bei der Auswuchtung notwendig, geeignete Auswuchtungstoleranzen zu erreichen, deren Werte von Fall zu Fall wechseln können, je nach den Bearbeitungsbedürfnissen. Dies geschieht durch Festlegung der „maximal zulässigen Restunwucht“, bzw. „Auswuchtungstoleranzen“.

Es ist klar, daß eine ungenügende Auswuchtung unzulässige Schwingungen verursachen würde, mit all den Störungen und Schäden, die sich daraus ergeben. Andererseits wäre es falsch, einen Rotor mit höherer Genauigkeit auszuwuchten, als es für den normalen, ruhigen Betrieb der Maschine, auf die der Rotor montiert ist, notwendig ist; wenn man z.B. die maximal erreichbare Auswuchtungsgenauigkeit einer Maschine verwendet. In der Tat würde man die Rotorqualität nicht verbessern, sondern nur die Zeit, die für die Auswuchtung nötig ist, verlängern und die Kosten dadurch erhöhen.

Wenn man die Auswuchtungstoleranz festlegt, muß man sich dabei auch die »Wiederholungsmöglichkeit« vor Augen halten, d.h. einen niedrigsten Wert, den man auch bei wiederholten Prüfungen mit Sicherheit erreichen kann. Wenn es sich z.B. zeigt, daß ein einfacher Ab- und Wiederaufbau eines Rotors auf die Auswuchtmaschine, oder verschiedene Auswuchtungen auf der endgültigen Betriebsmaschine eine Veränderung der örtlichen Schwerpunktverlagerung um 5 Mikron verursacht, so ist es unsinnig, den Rotor mit einer viel höheren Genauigkeit als 5 Mikron auszuwuchten.

Es ist deshalb nötig, daß für jeden Rotor die technisch und wirtschaftlich günstigste Toleranz festgelegt und vorgeschrieben wird.

Die Zeichnungen müssen deswegen zeigen:

- den Wert der maximal zulässigen Restunwucht für jede Ausgleichsebene, und zwar mit Präzision;
- wo und wie die Ausgleichsgewichte angebracht werden müssen, oder wo Material weggenommen werden kann, ohne das Teil zu beschädigen;
- die Lagerzapfen, worauf der Rotor auf der Auswuchtmaschine gestützt wird;
- den empfohlenen Geschwindigkeitsbereich für die Auswuchtung;
- für jeden Fall, alle nützlichen Daten, die dem Benutzer helfen können, für eine schnelle und sichere Auswuchtung.

Dies gilt für starre Rotoren, während für nachgiebige Rotoren andere Vorschriften nötig sind. Wie die Auswuchtungsvorgänge verschieden sind, abhängig davon, ob es sich um starre oder nachgiebige Rotoren handelt, so ist die Auswuchtungsgenauigkeit oder Toleranz in den zwei Fällen verschieden. Es genügt festzustellen, daß für einen nachgiebigen Rotor der Unwuchteffekt durch Elastizität verstärkt wird, so daß auf die Lagerebene Kräfte anderer Größe wirken, als jene eines starren Rotors mit derselben Unwucht. Wenn alle anderen Bedingungen gleich sind, folgt daraus, daß die Auswuchtungstoleranzen in den zwei Fällen verschieden sein werden, wenn gleiche Kräfte oder Schwingungen auf die Lagerebene zu erreichen sind.

Der Inhalt dieser Beschreibung gilt nur für starre Rotoren, soweit nichts anderes angegeben wird.

MESSEINHEITEN DER AUSWUCHTUNGSTOLERANZ

Die Auswuchtungstoleranz ergibt sich aus dem Produkt der maximal zulässigen Unwucht und ihrer Entfernung von der Drehachse.

Wenn man die Auswuchtungstoleranz durch das Gewicht des Rotors teilt, ergibt sich die „statische Unwucht“. Diese wird auch „zulässige restliche Schwerpunktverlagerung“ genannt, da sie, im Fall von statischer Unwucht, die Schwerpunktverlagerung des Rotors von der Drehachse durch die zulässige Unwucht ausdrückt.

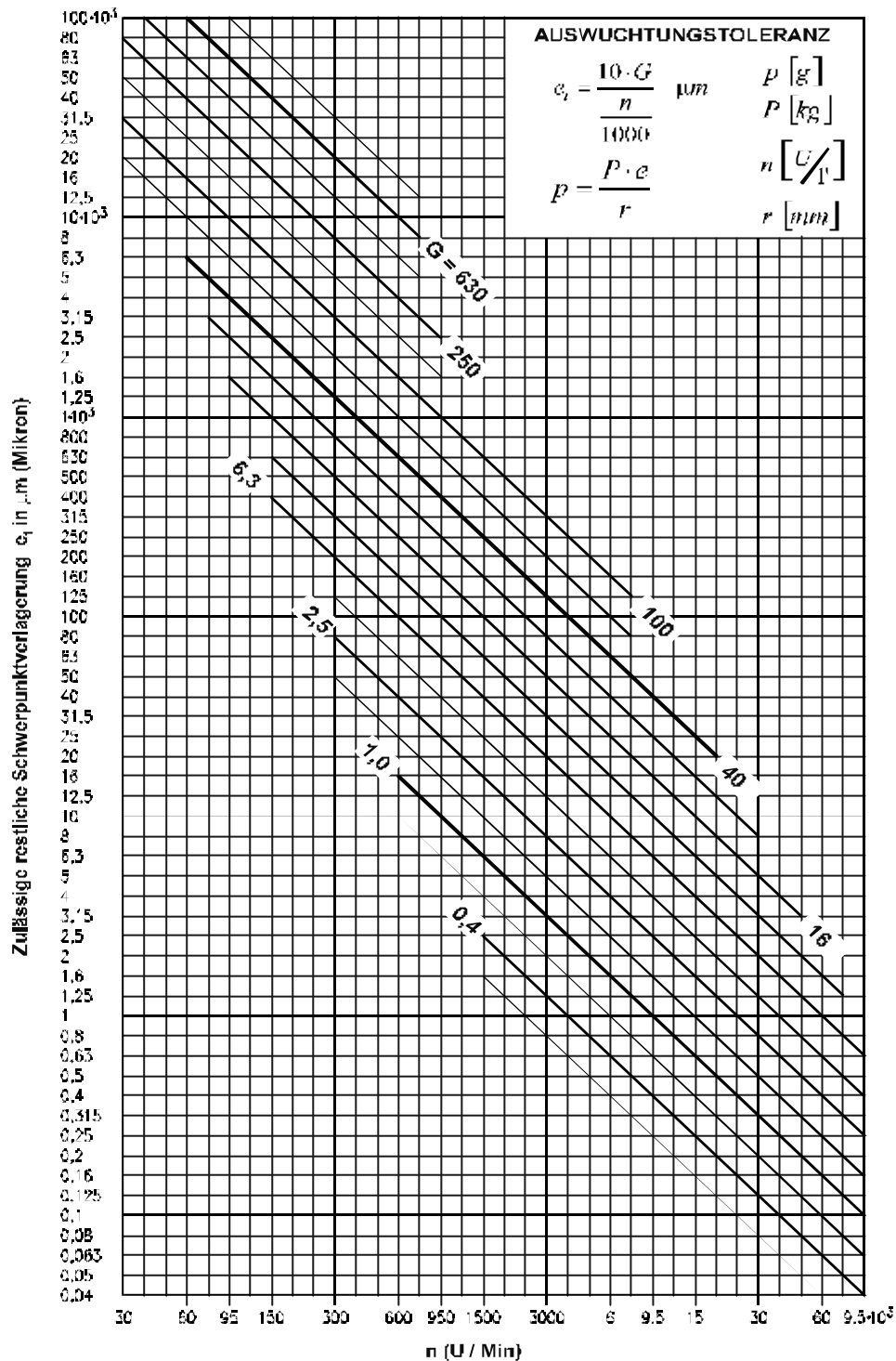
SYMBOLE

p (Gramm)	= maximal zulässige Unwucht
r (mm)	= p 's Entfernung von der Drehachse
P (kg)	= Rotorgewicht
n (U/min)	= Drehgeschwindigkeit bei normalem Gebrauch
$p \cdot r$ (g · mm)	= Auswuchtungstoleranz
$e = \frac{p \cdot r}{P}$	= zulässige restliche Schwerpunktverlagerung (Mikron)
G (mm/s)	= Auswuchtungsgrad (s. Tabelle)

GRADE DER AUSWUCHTUNGSQUALITÄT FÜR VERSCHIEDENEN GRUPPEN VON ROTOREN

Anmerkung - Die Rotorkategorien in Kursivschrift sind nicht in den ISO-Normen enthalten, aber sind vom Autor beigelegt worden. Die Artikel, die mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet sind, sind im Kapitel 7 des Heftes Nr.8 ausführlicher beschrieben.

Grad G mm/s	ROTORTYPEN
0,4	Kreisel * Spindeln Drehscheiben und Anker von höchstgenauen Schleifmaschinen * <i>Spinnspindel</i>
1,0	Kleine, schnellaufende Motoranker mit hohen Auswuchtungsansprüchen Plattenspieler- und Tonbandgerätrantriebe, <i>Kinoprojektoren</i> Höchstgenaue Schleifmaschinantriebe <i>Turbinen- und Kompressorenrotoren Hochgeschwindigkeits-Düsenmotoren</i> <i>Dampfturbinenrotoren mit hohen Auswuchtungsansprüchen</i>
2,5	Rotoren von Dampf- und Gasturbinen, von Turbowechselstromgeneratoren, von Turbogebläsen und von Turbopumpen Antriebsturbinen für Handelsschiffe <i>Schnellaufende Kompressoren, Superkompressoren für Flugzeuge</i> Mittlere und große Motoranker mit hohen Auswuchtungsansprüchen Kleine Motoranker mit gehobenen Auswuchtungsansprüchen <i>für elektrische Haushaltsgeräte von hoher Qualität,</i> <i>Zahnarztbohrer, Spritzpistole</i> Indotti di piccoli motori non compresi nelle condizioni specificate per il grado 6,3 Antriebe von Werkzeugmaschine <i>Gebläse für Klimaanlage in Krankenhäusern und Konzertsälen *</i> <i>Hochgeschwindigkeitsgetriebe für Schiffahrtsturbinen (über 1000 U/min)</i> Festplatten von Computern
6,3	Rotoren für normale elektrische Motoren Teile von Werkzeugmaschinen und von Maschinen im Allgemeinen Schnelle Teile von Arbeitsmaschinen, Webstühle und Spinnmaschinen, Flechtmaschinen, Zentrifugentrommeln <i>(Sahneabscheider, Kläranlagen, Waschmaschinen)</i> Rotoren für hydraulische Maschinen Schwungräder, Ventilatoren *, Zentrifugalpumpen Niedriggeschwindigkeitsgetriebe für Schiffahrtsturbinen (unter 1000 U/min) <i>Zylinder und Rollen für Druckmaschinen</i> Rotoren in Gasturbinen für die Flugzeugindustrie Unabhängige Teile von Maschinen mit hohen Ansprüchen
16	Antriebs- und Kardanwellen mit hohen Auswuchtungsansprüchen Teile für landwirtschaftlichen Maschinen, Mühlen und Dreschmaschinen Motorteile für PKW, LKW und Lokomotiven Kurbelwellen * mit Schwungrädern und Kupplung mit 6 oder mehr Zylindern und hohen Auswuchtungsansprüchen <i>Trommeln für langsame Zentrifugen</i> <i>Propeller für leichte Boote (Motorboote, Tragflügelboote)</i> <i>Radfelgen für PKW und Motorräder</i> <i>Normale Antriebsscheiben</i> <i>Einteilige Werkzeuge für Holzbearbeitungsmaschinen</i>
40	Räder und Radfelgen für PKW * Antriebswellen und vollständige Achsen für Fahrzeuge Kurbelwellen * mit Schwungrädern und Kupplung für 4-Takt Motoren mit 6 oder mehr Zylindern, die elastisch aufgehängt sind, mit Kolbengeschwindigkeit über 9 m/s Kurbelwellen mit Schwungrädern und Kupplung für PKW-, LKW-, und Lokomotivmotoren <i>Antriebswellen für Riemenscheiben</i> <i>Mehrteilige Werkzeuge für Holzbearbeitungsmaschinen</i>
100	Vollständige Kurbelwellen für Dieselmotoren mit 6 oder mehr Zylindern und einer Kolbengeschwindigkeit über 9 m/s Vollständige Fahrzeug- und Lokomotivmotoren <i>Kurbelwellen für Motoren mit 1, 2 oder 3 Zylindern</i>
250	Vollständige Kurbelwellen für festmontierte, 4-Zylinder Dieselmotoren, mit Kolbengeschwindigkeit über 9 m/s
630	Vollständige Kurbelwellen für große, festmontierte, 4-Takt Motoren Vollständige Kurbelwellen für elastisch montierte Schiffsdieselmotoren
1600	Vollständige Kurbelwellen für große, festmontierte, 2-Takt Motoren
4000	Vollständige Kurbelwellen für große, festmontierte Schiffsdieselmotoren mit einer beliebigen Anzahl von Zylindern und einer Kolbengeschwindigkeit unter 9 m/s



Der Grad der Auswuchtungsqualität G wird von den Eigenschaften des Rotors und der Maschine, worauf der Rotor unter normalen Bedingungen arbeiten soll, bestimmt (s. Tabelle).

Vom Diagramm wird die zulässige, restliche Schwerpunktvorlagerung hergeleitet, als Funktion der Drehgeschwindigkeit, in Zusammenhang mit dem Grad G .

Die restliche Schwerpunktvorlagerung ist kein fester Wert: sie kann bei einem gegebenen Grad G zwischen einem Mindest- und einem Höchstwert schwanken in Zusammenhang mit den zwei feinen Linien über und unter der Linie des Grades G .

Die Auswuchtungstoleranz $g \cdot mm$ wird von der restlichen Schwerpunktvorlagerung e (Mikron) bestimmt, wenn man sie mit dem Rotorgewicht P (kg) multipliziert.

Die so errechneten Toleranzwerte sind normalerweise eine gute Richtlinie und genügen, um ausreichende Arbeitsbedingungen mit großer Wahrscheinlichkeit zu sichern.

Einige Ausgleiche können trotzdem günstig und manchmal notwendig sein, insbesondere wenn die Maschine Konstruktionseigenschaften hat, die wesentlich anders sind, als die der traditionellen Maschinen derselben Kategorie.

GÜLTIGKEITSBEDINGUNGEN DES AUSWUCHTUNGSTOLERANZDIAGRAMMS

Das Diagramm und die Klassifikationstabelle der Rotoren geben gute Richtwerte, soweit die folgenden Bedingungen eingehalten werden:

1. Die Toleranzwerte beziehen sich auf den ganzen Rotor; wenn es zwei Ausgleichsebene gibt und der Rotor annähernd symmetrisch ist, dann muß jede Ausgleichsebene die Hälfte des gefundenen Toleranzwertes enthalten; im Falle von starker Asymmetrie des Rotors oder der Position der Ausgleichsebenen, muß die Restunwucht zwischen den zwei Ausgleichsebenen günstig geteilt werden.
2. Die Toleranzwerte gelten sowohl für statische als auch für rein dynamische Unwucht; nur in besonderen Fällen kann es nützlich oder notwendig sein, zwei verschiedene Toleranzwerte bezüglich statischer und rein dynamischer Unwucht festzulegen.
3. Der Rotor muß über seinen ganzen Bereich von Arbeitsgeschwindigkeiten und wirklichen Betriebsbedingungen auf der Maschine als starr angesehen werden (Lager, Lagerebene, Maschinenbetten, Fundamente, Verbindungen mit anderen Rotoren, Antriebselemente, u.s.w.).

ANMERKUNG 1 - Auswuchtungsgrade 0,4 und 1

Für Rotoren der Klassen 0,4 und 1 muß die Auswuchtungstoleranz normalerweise mit der direkten Experimentmethode geprüft werden.

Außerdem muß man sich vor Augen halten, daß im Falle sehr genauer Auswuchtung, wie dieser, können die Auswuchtungsmittel (z.B. Antriebskupplungen, Rollenausrüstungen, Temperatur) einen bemerkenswerten Einfluß haben. Im Allgemeinen müssen Rotoren der Klasse 0,4 mit selbständigen Antrieb ohne Kupplung ausgewuchtet werden: die Rotoren der Klasse 1 können auch Antrieb ohne Kardankupplung oder Riemen für genauere Ergebnisse benötigen. Rotoren der Klassen 0,4 und 1 müssen zusammen mit ihren *endgültigen Lagern* ausgewuchtet werden, da die Toleranzen normalerweise niedriger sind, als die Schwerpunktverlagerung, die in der Lagermontage entsteht.

Weiterhin ist es gute Praxis, eine endgültige Auswuchtung der Rotoren dieser Klassen auf die eigentliche Maschine und unter Arbeitsbedingungen auszuüben.

ANMERKUNG 2 - Benutzung von Hilfsgeräten

In den Rotoren, die für die Auswuchtung auf Hilfswellen oder auf Hilfsflansche montiert werden müssen, haben die gezeigten Toleranzwerte Bedeutung, nur wenn man, außer der Unwucht der Hilfswelle oder des Flansches, auch das Montagespiel und die Bearbeitungstoleranz des Teils kontrolliert, für ihre Konzentrität mit der Drehachse, sowohl für die Hilfswelle, als auch für die endgültige Welle. Die Gesamtheit der Restunwuchte und der Spiele, in Schwerpunktverlagerungswerte übersetzt, muß natürlich niedriger sein, als die Auswuchtungstoleranz, da sonst die so erreichte Auswuchtungsgenauigkeit rein illusorisch wäre.

Im Falle von zylindrischer Einstellung, wird all das Montagespiel in Schwerpunktverlagerung umgewandelt; die Situation ist bei konischer Einstellung besser, wo nur die Bearbeitungsgenauigkeit der konischen Teilen zu betrachten ist; trotzdem ist es bei konischer Einstellung leichter, daß das Teil mit einer Neigung in Bezug auf die Drehachse montiert wird, so daß nicht zulässige, rein dynamische Unwuchte möglich sind, wenn das Verhältnis zwischen dem äußeren Durchmesser des Teils und dem Durchmesser des Konus groß ist.

Als Richtlinie kann man sagen, daß es, mit Ausnahme sehr genauer Konstruktionen, schwer ist, mit Benutzung von Hilfswellen oder Flansche bei zylindrischer Einstellung eine bessere Genauigkeit als 10 Mikron, bei konischer Einstellung 5 Mikron, zu erreichen.

ANMERKUNG 3 - Zusammengesetzte Rotoren

Im Falle der zusammengesetzten Rotoren, müssen die Unwuchte der Bestandteile vektoriell zusammengezählt werden, wobei man auch die Unwuchte, die von der Montage abhängen, berücksichtigen muß (Bearbeitungstoleranzen, Spiele, Schlüssel, Druckschrauben, usw.).

Wenn die Bestandteile einzeln getrennt ausgewuchtet werden, können die Verbindungselemente, wie Bolzen, Schlüssel, usw., auf ein einziges Teil oder auf verschiedene Teile aufgeteilt befestigt werden, Auf jeden Fall ist es nötig, alle Bestandteile, die während des Aufbaus des Rotors montiert werden, zu berücksichtigen.

Die Unwucht, die sich nach dem Aufbau ergibt, muß niedriger sein, als jene, die in den Diagrammen für den vollständigen Rotor gezeigt wird: ansonsten muß der Rotor nach dem Aufbau ausgewuchtet werden, wobei man zwei günstige Ausgleichsebenen wählt.

ANMERKUNG 4 - Fliegend gelagerte Rotoren

Für Rotoren, die fliegend gelagert oder auf jeden Fall mit Schwerpunkt außerhalb der zwei Lagerebenen sind, können die rotierenden Kräfte, die von den Unwuchten auf die Lagerebenen verursacht werden, ziemlich anders sein, als die, die mit demselben Rotor verursacht würden, wäre er innerhalb der Lagerebenen montiert: z.B. 2 oder 3 mal. In diesem Fall ist es empfehlenswert, einen niedrigeren Qualitätsgrad als den der Tabelle zu betrachten, d.h. eine höhere Genauigkeit.

ANMERKUNG 5 - Antriebsmittel

Häufige Ursachen von Fehlern befinden sich in den Rotorantriebsmitteln während der Auswuchtung, sowohl bei Kardankupplung, als auch bei Riemen oder auch bei Magnetfeldern. Insbesondere im Falle von Kardankupplungen mit Flansch- oder Muffenverbindungen, oder auch im Falle von Spindeln, die das auszuwuchtende Teil fixieren, wird jeder Auswuchtungsfehler der Kupplung, jeder Zentrierungsfehler und jedes übermäßige Spiel auf alle ausgewuchteten Teile übertragen. Wenn man berücksichtigt, daß die Auswuchtungstoleranzen öfters in der Größenordnung von wenigen Mikron, oder gar Bruchteilen von Mikron, restlicher Schwerpunktverlagerung sind, ist es klar, wie die Antriebsverbindungen streng genau und in perfekten Bedingungen sein müssen, wenn man nicht will, daß die hohe Auswuchtungsgenauigkeit, die mit modernen Maschinen leicht erreichbar ist, nicht nur eine einfache Illusion bleibe. Ein nicht angemessenes oder abgenütztes Kupplungsgerät erlaubt keine ernste Auswuchtung.

DIREKTE VERSUCHSMETHODE

Der sicherste und präziseste Nachweis der maximal zulässige Restunwucht erhält man ausschließlich durch eine direkte Überprüfung. Um das zu erreichen, ist zuerst die Beseitigung der Unwucht des Rotors mit Hilfe einer Auswuchtmaschine notwendig. Danach wird das Teil so in die für den vorgesehenen Zweck bestimmte Maschine eingebaut, daß es dann in seiner Funktion in Betrieb genommen werden kann.

Während des Probelaufs erhöht man allmählich die Unwucht so weit, bis die Schwingungen auf der Lagerebene oder die der Maschine spürbar werden. Dann begrenzt man die maximal erlaubte Unwucht im Bezug zum gefundenen Wert, z.B. um ein Drittel.

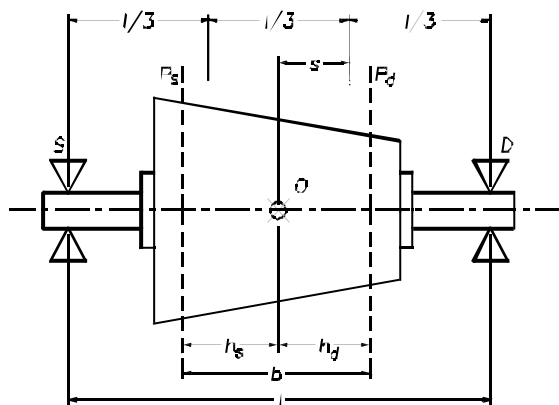
Diese Versuche müssen so vorgenommen werden, daß sie systematisch sind und daß dabei alle Vibrationsmöglichkeiten des Drehkörpers, einschließlich all seiner verschiedenen möglichen Bedingungen und die Stellen der angebrachten Ausgleichsgewichte, berücksichtigt werden können.

VERTEILUNG DER TOLERIERTEN UNWUCHT ZWISCHEN DEN BEIDEN AUSGLEICHEBENEN

Bei den meisten Rotoren ist eine annehmbare Verteilung der gesamten tolerierten Restunwucht $\bar{U}$ des Rotors auf jeder Ausgleichsebene bei Anwendung einer der folgenden Methoden möglich. Dabei sind die spezifischen Bedingungen zu berücksichtigen.

Mit U_s und U_d werden die tolerierten Unwuchten im Bezug zur linken und rechten Ausgleichsebene bezeichnet (siehe Abbildung).

Der Rotor-Schwerpunkt ist mit $\bar{O}$ gekennzeichnet.

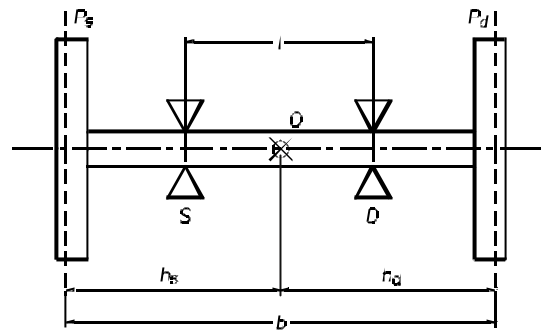


1) Wenn $\frac{l}{3} < b < l$; $s < \frac{l}{3}$ mit $h_s \cong h_d$ kann man

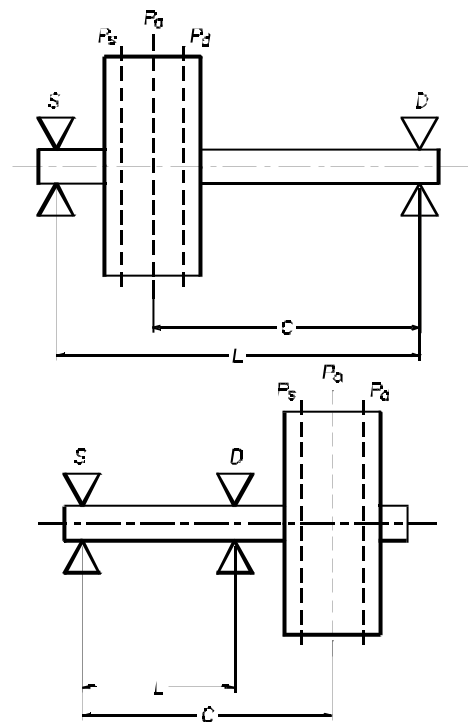
$$U_s = U_d = \frac{1}{2} U \text{ zugrundelegen}$$

Wenn $h_s \neq h_d$ aber $0,3b < h_s < 0,7b$ kann man von

$$U_s = \frac{h_d}{b} U ; U_d = \frac{h_s}{b} U \text{ ausgehen}$$



2) Wenn $b > l$ entspricht, sollte man von einem höheren globalen Unwuchtwert $U' = \frac{l}{b} U$ ausgegangen, der verteilt wird, wie oben beschrieben.



3) Wenn $b < \frac{l}{3}$ entspricht, empfiehlt es sich, von einer

Hilfsausgleichsebene P_a ausgehen (die mit P_s oder P_d übereinstimmen kann) dessen maximal zulässige Unwucht

$$U_a = \frac{U}{2} \frac{l}{2c} \text{ entspricht, einschließlich für die}$$

Ebenen P_s e P_d :

$$U_s = U_d = \frac{U}{2} \frac{3l}{4b}$$

4) Generell ergibt sich die zulässige Restunwucht für eine der beiden Ausgleichebenen als Produkt der global zulässigen Restunwucht des gesamten Rotors im Bezug zur Distanz der anderen Ausgleichebene des Rotor-Schwerpunktes und der Distanz zwischen den Ausgleichebenen.

Sollte es nicht gelingen, den Rotor mit keinem der vorgeschlagenen einfachen Methoden zu testen, ist von der generellen Methode auszugehen, die für jeden Rotor-Typ und für jede; Position der Ausgleichebenen geeignet ist.

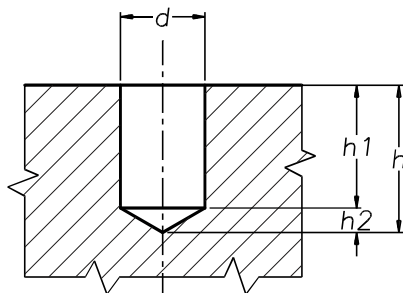
Wünschen Sie weitere Informationen, verlangen Sie das technische Heft Nr.8 (in italienischer und englischer Sprache) von CEMB, worin Sie eine vollständige Bearbeitung der Auswuchtungsgenauigkeit starrer Rotoren finden können, ebenso andere technische Hefte, die verschiedene Auswuchtungsprobleme behandeln.

UNWUCHTAUSGLEICHSDIAGRAMME FÜR DIE PRAXIS

BOHREN IM STAHL:

Je nach Bedarf Diagramme 1 bis 5 benutzen. Jedes Diagramm zeigt die in Abhängigkeit von der wegzubohrenden Masse (P) und dem Bohrerdurchmesser (d) notwendige Bohrtiefe (h) an. Die Kurven wurden unter Berücksichtigung der konischen Form der Bohrspitze (120°) bei einer Stahldichte von 7.85 kg/dm³ nach dem nachstehend beschriebenen Kriterium aufgezeichnet:

Meßeinheit:
P in Gramm
d in mm
h₁-h₂-h in mm



Die durch eine einzige Bohrung entnommene Masse beträgt:
 $P = 7.85 \cdot 10^{-3} V$ (wobei V das Gesamtvolumen der Bohrung ist)
(1) unter Berücksichtigung, daß:

$V = V_1 + V_2$ wobei

$$V_1 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h_1 \text{ (Volumen des zylindrischen Teils) und}$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h_2 \text{ (Volumen des konischen Teils)}$$

$$h_1 = h - h_2 ; h_2 = \frac{d}{2} \tan 30^\circ$$

$$(1) \text{ wird: } P = 7.85 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\pi}{4} d^2 h - 0.1511 \cdot d^3 \right) \quad (2)$$

BOHREN IM ALUMINIUM, GUßEISEN, usw.

Die bekannte wegzubohrende Masse ist wegen der unterschiedlichen Dichte der verschiedenen Werkstoffe mit einem Korrekturfaktor zu multiplizieren. Die so errechnete Masse wird bei den Diagrammen (1 – 5) eingesetzt, um die korrekte Bohrtiefe (h) zu erhalten.

KORREKTURFAKTORTABELLE

WERKSTOFF	D Bezugs- dichte (Kg/dm ³)	Korrekturfaktor (7.85/D)
ALUMINIUM	2.7	2.91
GUßEISEN	7.25	1.09
MESSING	8.5	0.92
KUPFER	8.9	0.88

BEISPIEL:

Auszugleichende Unwucht **P** = 10 Gramm. Verwendeter Bohrer **d** = 14 mm. Rotorwerkstoff ALUMINIUM. **P korrekt** = $10 \times 2.91 = 29.1$ Aus dem Diagramm 1 ergibt sich **h** = 27 mm

AUSGLEICH DURCH MATERIALZUGABE AUF STAHL:

Diagramm 6 verwenden. Dieses Diagramm zeigt in Abhängigkeit von den Abmessungen Stärke (**S**) und Breite (**L**) das Gewicht einer Platte mit einer Länge von 1 cm. Um die Länge (**l**) zu errechnen, Unwuchtgröße durch das sich aus dem Diagramm ergebende Gewicht dividieren.

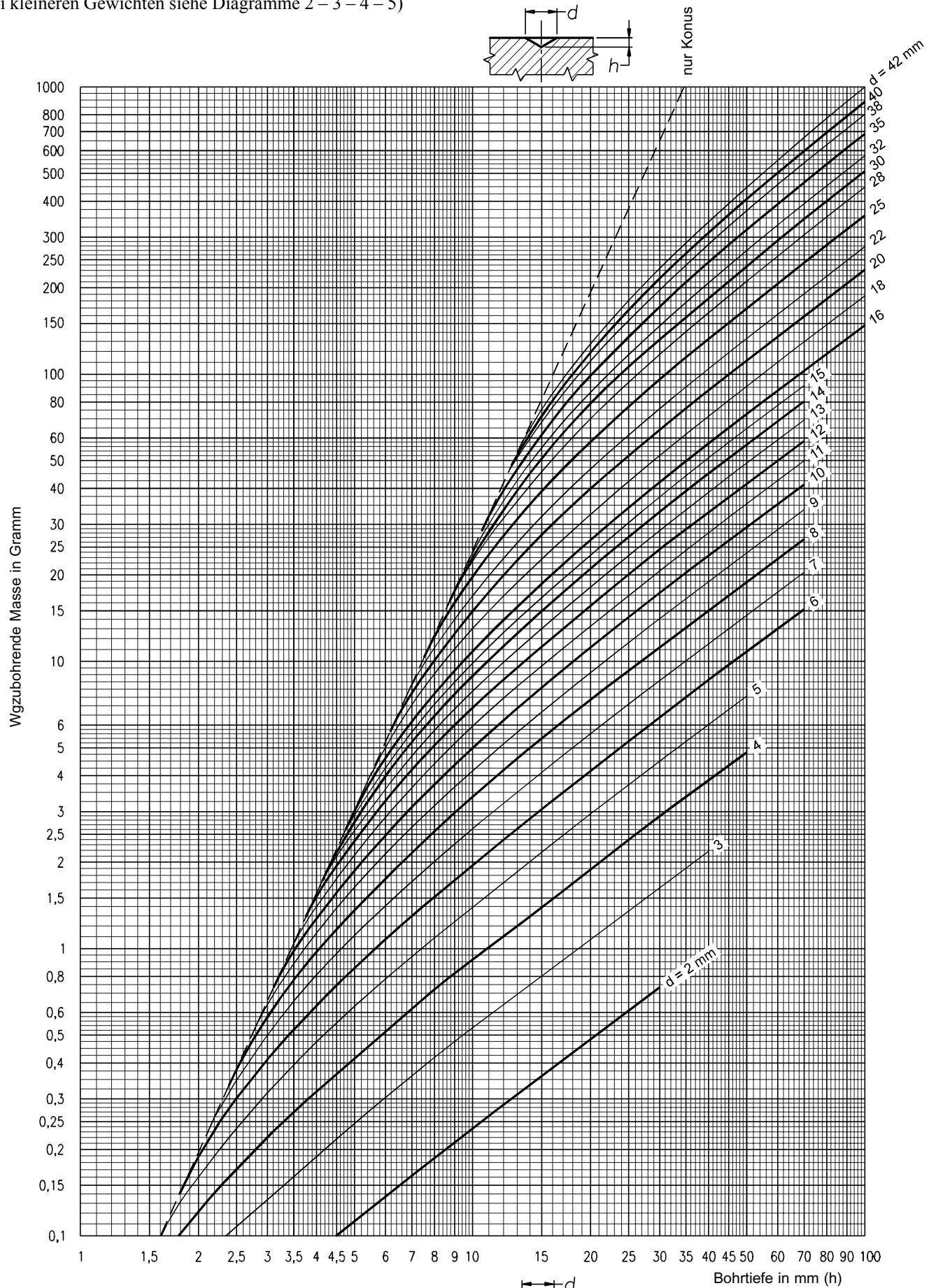
BEISPIEL: Zusatzmasse 50 Gramm
 Verwendete Platte 50x10 mm.

Aus dem Diagramm 1 ergibt sich ein Gewicht
P = 39 Gramm/cm

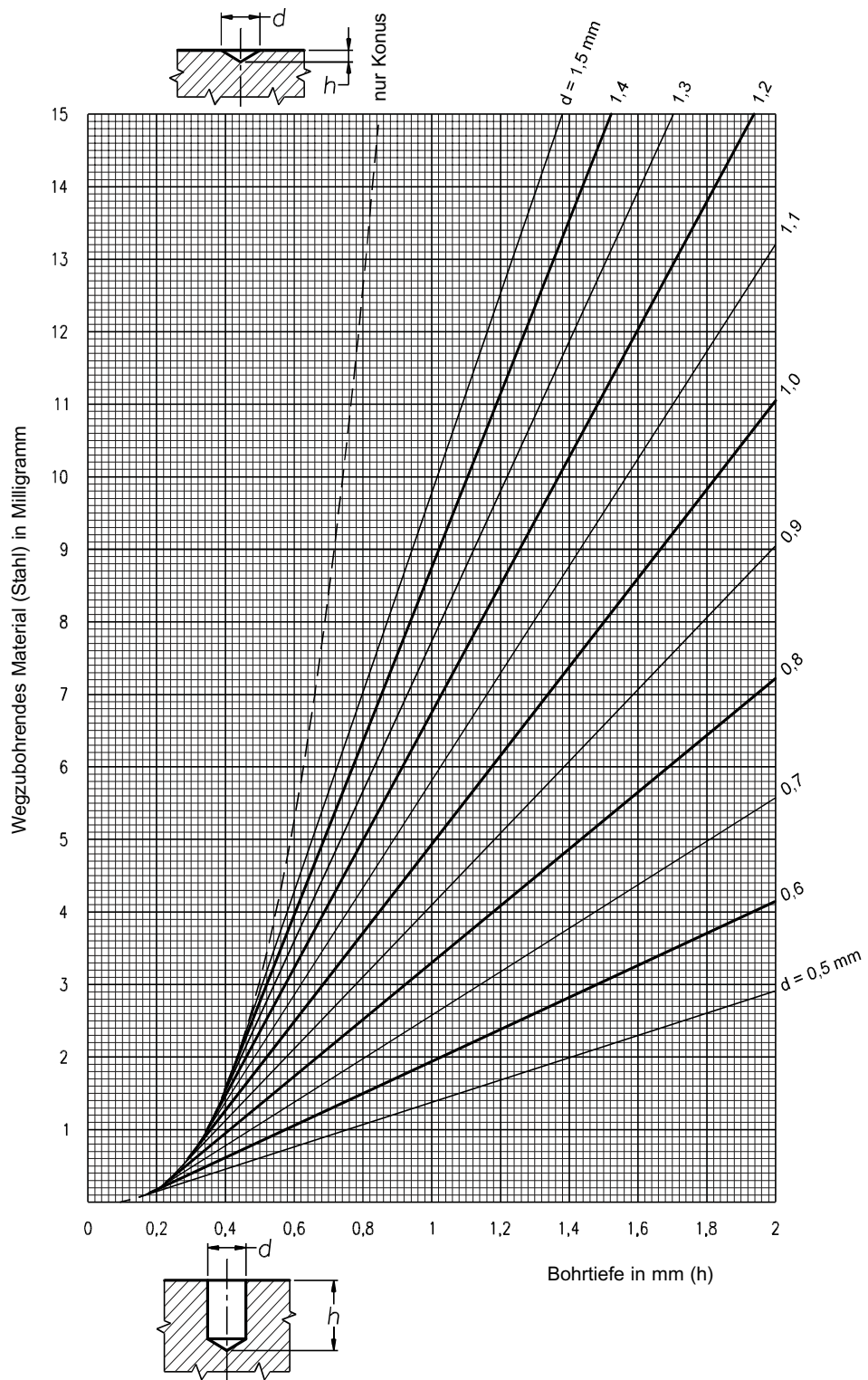
so daß $l = \frac{50}{39} = 1.3 \text{ cm}$ entspricht.

1 - ALLGEMEINES DIAGRAM FÜR DIE IM STAHL WEGZUBOHRENDE MASSE

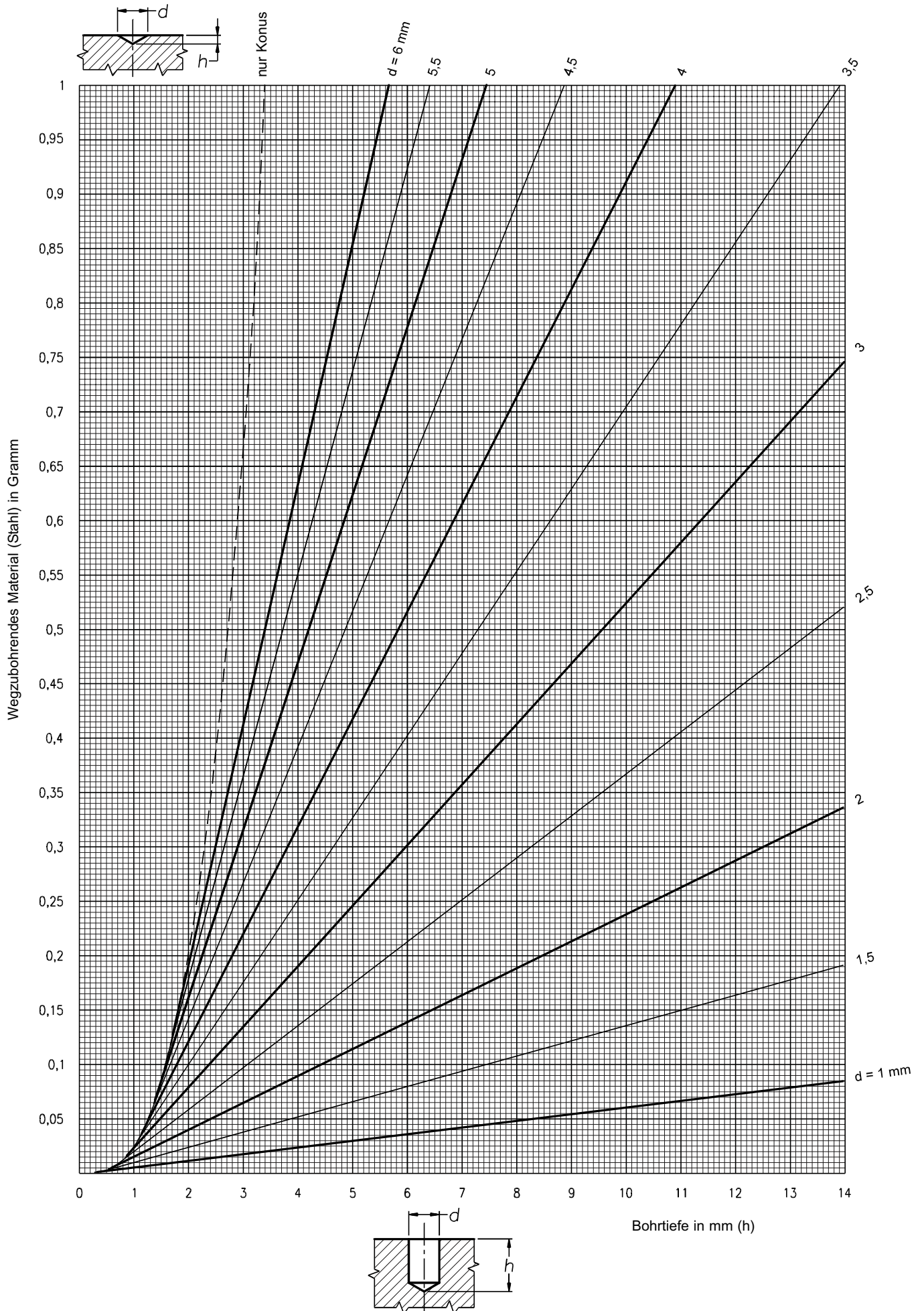
(bei kleineren Gewichten siehe Diagramme 2 – 3 – 4 – 5)



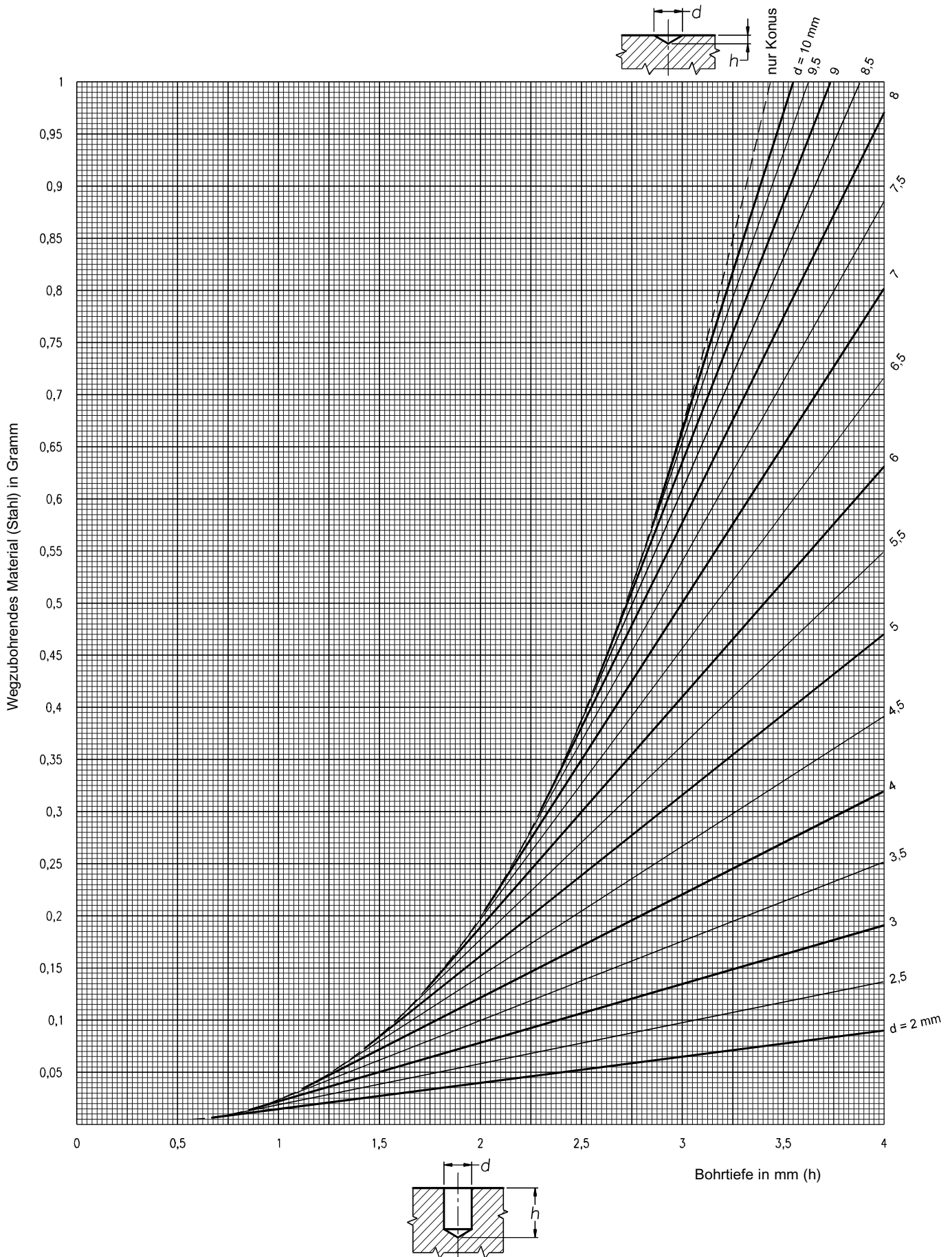
2 - DIAGRAMM FÜR FEINBOHRUNG Ø 0,5 – 1,5 mm



3 - DIAGRAMM FÜR FEINBOHRUNG Ø 1 – 6 mm

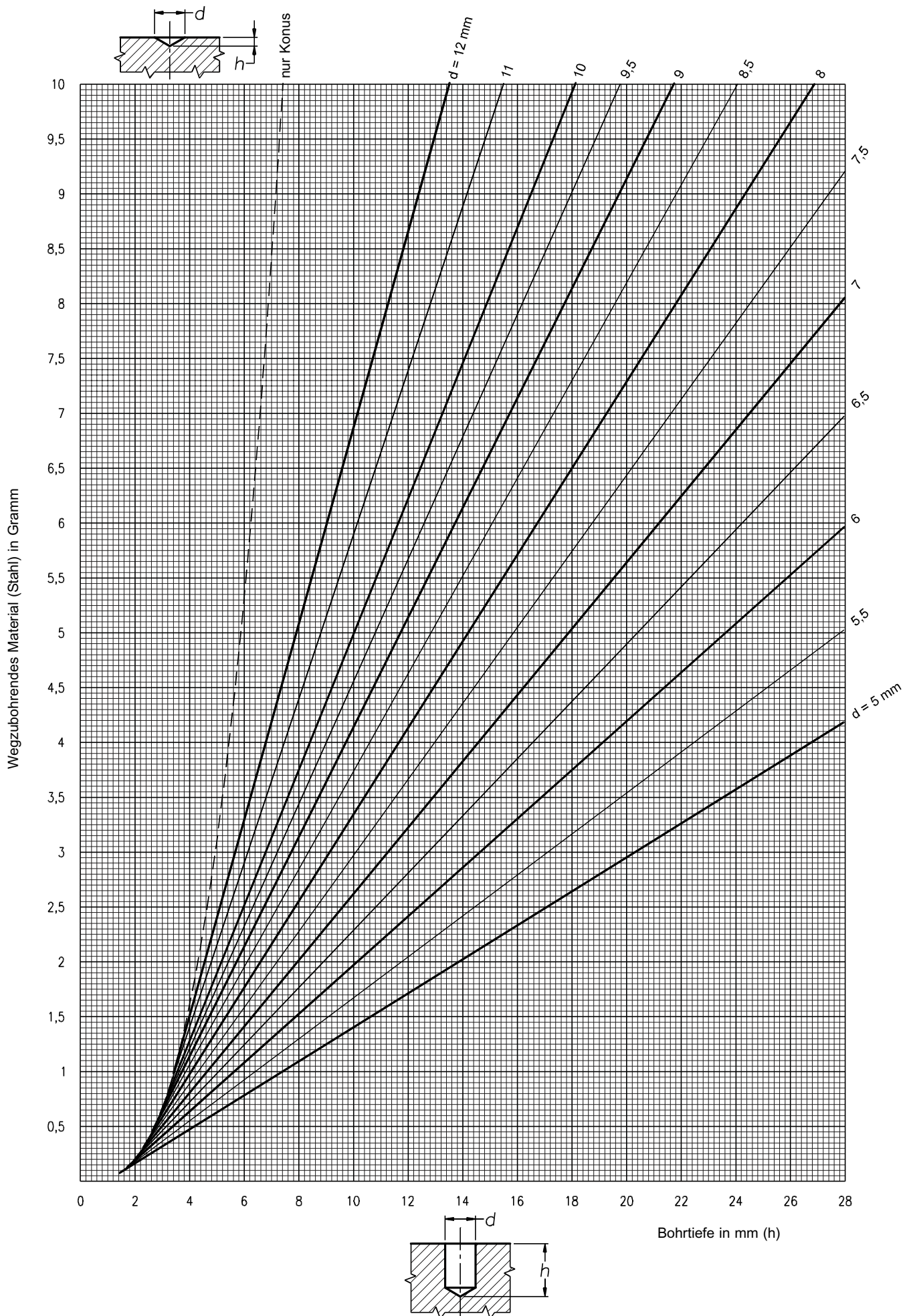


4 - DIAGRAMM FÜR FEINBOHRUNG Ø 2 – 10 mm



5 - DIAGRAMM FÜR FEINBOHRUNG

Ø 5 – 12 mm



6 - DIAGRAMM DES GEWICHTS je cm IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN ABMESSUNGEN L - s

